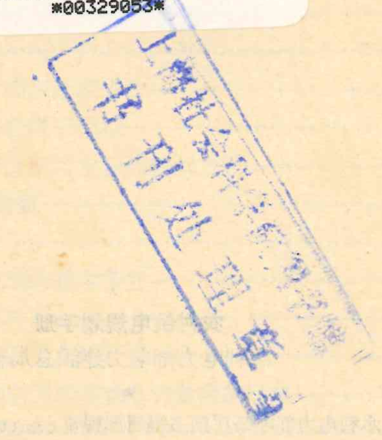

水利电力部电力建设总局编
农村供电规划手册
中国工业出版社

农村供电规划手册

水利电力部电力建設总局編





中国工业出版社

在建設农村供电設备之前，如果规划不当，除了浪費大量投資之外，还将对以后的运行、維护以及效益的发揮，产生深远的不良后果。本书結合我国实际情况，根据农村供电的規划經驗，介紹有关农村供电規划的一些方法和必要的資料。在有些章节中还举了例題，說明这些方法和資料的使用步驟。

本书供农村供电的規划、設計人員使用，也可作大专学校农业电气化及动力經济专业师生的参考书。

农村供电規划手册

水利电力部电力建設总局編

*

水利电力部办公厅图书編輯部編輯（北京阜外月坛南营房）

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业許可証出字第110号）

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本850×1168 1/32·印張 7 13/16·插頁 3·字数207,000

1964年2月北京第一版·1964年2月北京第一次印刷

印数0001—6,810·定价（科六）1.40元

*

統一书号：15165·2911（水电-398）

目 录

表 1-3 体积与容积换算表

单位名称	市石	市斗	市升	米^3	呎^3	英加侖	美加侖
1 市石	1	10	100	0.1	3.53	22	26.42
1 市斗	0.1	1	10	0.01	0.353	2.2	2.642
1 市升	0.01	0.1	1	0.001	0.0353	0.22	0.264
1 米^3	10	100	1000	1	35.31	220	264.2
1 呎^3	0.28	2.83	28.32	0.0283	1	6.23	7.48
1 英加侖	0.045	0.455	4.55	0.0045	0.16	1	1.2
1 美加侖	0.038	0.3785	3.785	0.0038	0.1336	0.833	1

表 1-4 重量换算表

单位名称	吨	公斤	克	市斤	英吨	英磅	普特
1 吨	1	1000	—	2000	0.98	2204.6	61.05
1 公斤	0.001	1	1000	2	—	2.2	0.61
1 克	—	0.001	1	0.002	—	—	—
1 市斤	0.0005	0.5	500	1	—	1.1	0.305
1 英吨	—	—	—	—	1	—	—
1 英磅	—	—	—	—	—	1	—
1 普特	—	16.38	—	32.76	—	36.04	1

表 1-5 流量换算表

单位名称	公升/秒	米^3/时	呎^3/秒	英加侖/分	美加侖/分
1公升/秒	1	3.6	0.0353	13.2	15.85
1米^3/时	0.278	1	0.0098	3.67	4.4
1呎^3/秒	28.32	102	1	373.7	448.8
1英加侖/秒	—	—	—	1	—
1美加侖/秒	0.063	0.227	0.0022	0.833	1

表 1-6 速度换算表

单位名称	公里/时	米/分	米/秒	呎/分	呎/秒
1公里/时	1	16.67	0.278	54.68	0.91
1米/分	0.06	1	0.0167	3.28	0.0547
1米/秒	3.6	60	1	197	3.28
1呎/分	0.0183	0.305	0.0051	1	0.0167
1呎/秒	1.097	18.29	0.305	60	1

表 1-7 压力换算表

单位名称	公斤/厘米^2	水柱(15°C)	水銀柱(0°C)	磅/吋^2	水柱(15°C)	水銀柱(0°C)
		米	毫米		呎	吋
1 公斤/厘米^2	1	10.01	735.6	14.22	32.84	28.96
1 米(水柱15°C)	0.09991	1	73.49	1.421	3.281	2.893
1 毫米(水銀柱0°C)	0.001359	0.01361	1	0.01934	0.04464	0.03937
1 磅/吋^2	0.07031	0.7037	51.71	1	2.309	2.036
1 呎(水柱15°C)	0.03045	0.3048	22.4	0.4331	1	0.8819
1 吋(水銀柱0°C)	0.03453	0.3456	25.4	0.4912	1.134	1

注：1大气压=1.033公斤/厘米^2=14.7磅/吋^2=10.33米水柱=760毫米水銀柱。

表 1-8 能量单位换算表

单位名称	公斤-米	瓩-时	焦尔	大卡	英热单位
1 公斤-米	1	2.72×10^{-6}	9.81	2.34×10^{-3}	9.29×10^{-3}
1 瓩-时	3.67×10^{5}	1	3.6×10^{6}	860	3412
1 焦尔	0.102	2.78×10^{-7}	1	2.39×10^{-4}	948×10^{-6}
1 大卡	427	1.16×10^{-3}	4186	1	3.969
1 英热单位	107.6	2.93×10^{-4}	1.05×10^{-4}	0.252	1

注：1 焦耳＝1 瓦-秒。1 瓩-时＝1 度(电度)。

表 1-9 功率单位换算表

单位名称	瓦	公斤-公尺/秒	馬力	英制馬力	大卡/秒
1瓦	1	0.102	1.36×10^{-3}	1.341×10^{-3}	2.39×10^{-4}
1公斤-米/秒	9.81	1	1.3×10^{-2}	1.35×10^{-3}	2.34×10^{-3}
1馬力	736	75	1	0.987	0.176
1英制馬力	745	76	1.013	1	—
1大卡/秒	4.19×10^{3}	427	5.69	—	1

表 1-10 三角函数换算表

cos φ	φ	sin φ	tg φ	cos φ	φ	sin φ	tg φ
1	0°	0	0	0.72	43°57′	0.694	0.964
0.99	8°06′	0.141	0.143	0.71	44°46′	0.704	0.992
0.98	11°29′	0.199	0.203	0.70	45°34′	0.714	1.020
0.97	14°04′	0.243	0.251	0.69	46°22′	0.724	1.049
0.96	16°16′	0.280	0.292	0.68	47°09′	0.733	1.078
0.95	18°12′	0.312	0.329	0.67	47°56′	0.742	1.108
0.94	19°57′	0.341	0.363	0.66	48°42′	0.751	1.138
0.93	21°34′	0.368	0.395	0.65	49°27′	0.759	1.169
0.92	23°04′	0.392	0.426	0.64	50°12′	0.769	1.201
0.91	24°30′	0.415	0.456	0.63	50°57′	0.777	1.233
0.90	25°51′	0.436	0.484	0.62	51°41′	0.785	1.265
0.89	27°08′	0.456	0.512	0.61	52°25′	0.792	1.299
0.88	28°21′	0.475	0.540	0.60	53°08′	0.800	1.334
0.87	29°32′	0.493	0.567	0.59	53°51′	0.807	1.368
0.86	30°41′	0.510	0.593	0.58	54°33′	0.815	1.403
0.85	31°47′	0.527	0.620	0.57	55°15′	0.821	1.441
0.84	32°52′	0.543	0.646	0.56	56°57′	0.828	1.482
0.83	33°54′	0.558	0.672	0.55	56°38′	0.835	1.520
0.82	34°55′	0.573	0.698	0.54	57°19′	0.842	1.559
0.81	35°54′	0.586	0.724	0.53	58°00′	0.848	1.600
0.80	36°52′	0.600	0.750	0.52	58°40′	0.854	1.643
0.79	37°11′	0.613	0.776	0.51	59°20′	0.860	1.686
0.78	38°44′	0.626	0.802	0.50	60°00′	0.866	1.732
0.77	39°39′	0.638	0.829	0.45	63°15′	0.893	1.984
0.76	40°32′	0.650	0.855	0.40	66°25′	0.916	2.290
0.75	41°25′	0.661	0.882	0.35	69°31′	0.937	2.674
0.74	42°16′	0.673	0.909	0.30	72°32′	0.954	3.180
0.73	43°07′	0.683	0.936	0.25	75°31′	0.968	3.867

表 1-11　正弦余弦函数表

sin	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	度
0°	0.0000	0.0017	0.0035	0.0052	0.0070	0,0087	0.0105	0.0122	0.0140	0.0157	89
1	0.0175	0.0192	0.0209	0.0227	0.0244	0.0262	0.0279	0.0297	0.0314	0.0332	88
2	0.0349	0.0366	0.0384	0.0401	0.0419	0.0436	0.0454	0.0471	0.0488	0.0506	87
3	0.0523	0.0541	0.0558	0.0576	0.0593	0.0610	0.0628	0.0645	0.0663	0.0680	86
4	0.0698	0.0715	0.0732	0.0750	0.0767	0.0785	0.0802	0.0819	0.0837	0.0854	85
5	0.0872	0.0889	0.0906	0.0924	0.0941	0.0958	0.0976	0.0993	0.1011	0.1028	84
6	0.1045	0.1063	0.1080	0.1097	0.1115	0.1132	0.1149	0.1167	0.1184	0.1201	83
7	0.1219	0.1236	0.1253	0.1271	0.1288	0.1305	0.1323	0.1340	0.1357	0.1374	82
8	0.1392	0.1409	0.1426	0.1444	0.1461	0.1478	0.1495	0.1513	0.1530	0.1547	81
9	0.1565	0.1582	0.1599	0.1616	0.1633	0.1650	0.1668	0.1685	0.1702	0.1719	80
10	0.1736	0.1754	0.1771	0.1788	0.1805	0.1822	0.1840	0.1857	0.1874	0.1891	79
11	0.1908	0.1925	0.1942	0.1959	0.1977	0.1994	0.2011	0.2028	0.2045	0.2062	78
12	0.2079	0.2096	0.2113	0.2130	0.2147	0.2164	0.2181	0.2198	0.2215	0.2232	77
13	0.2250	0.2267	0.2284	0.2300	0.2317	0.2334	0.2351	0.2368	0.2385	0.2402	76
14	0.2419	0.2436	0.2453	0.2470	0.2484	0.2504	0.2521	0.2538	0.2554	0.2571	75
15	0.2588	0.2605	0.2622	0.2639	0.2656	0.2672	0.2689	0.2706	0.2723	0.2740	74
16	0.2756	0.2773	0.2790	0.2807	0.2823	0.2840	0.2857	0.2874	0.2890	0.2907	73
17	0.2924	0.2940	0.2957	0.2974	0.2990	0.3007	0.3024	0.3040	0.3057	0.3074	72
18	0.3090	0.3107	0.3123	0.3140	0.3156	0.3173	0.3190	0.3206	0.3223	0.3239	71
19	0.3256	0.3272	0.3289	0.3305	0.3322	0.3338	0.3355	0.3371	0.3387	0.3404	70
20	0.3420	0.3437	0.3753	0.3469	0.3486	0.3502	0.3518	0.3535	0.3551	0.3567	69
21	0.3584	0.3600	0.3616	0.3633	0.3649	0.3665	0.3681	0.3697	0.3714	0.3730	68
22	0.3746	0.3762	0.3778	0.3795	0.3811	0.3827	0.3843	0.3859	0.3875	0.3891	67
23	0.3907	0.3923	0.3939	0.3955	0.3971	0.3987	0.4003	0.4019	0.4037	0.4051	66
24	0.4067	0.4083	0.4099	0.4115	0.4131	0.4147	0.4163	0.4179	0.4195	0.4210	65
25	0.4226	0.4242	0.4258	0.4274	0.4289	0.4305	0.4321	0.4337	0.4352	0.4368	64
26	0.4384	0.4399	0.4415	0.4431	0.4446	0.4462	0.4478	0.4493	0.4509	0.4529	63
27	0.4540	0.4555	0.4571	0.4586	0.4602	0.4617	0.4633	0.4648	0.4664	0.4679	62
28	0.4695	0.4710	0.4726	0.4741	0.4756	0.4772	0.4787	0.4802	0.4818	0.4833	61
29	0.4848	0.4863	0.4879	0.4894	0.4909	0.4924	0.4939	0.4955	0.4970	0.4985	60
30	0.5000	0.5015	0.5030	0.5045	0.5060	0.5075	0.5090	0.5105	0.5120	0.5135	59
31	0.5150	0.5165	0.5180	0.5195	0.5210	0.5225	0.5240	0.5255	0.5270	0.5284	58
32	0.5299	0.5314	0.5329	0.5344	0.5358	0.5373	0.5387	0.5402	0.5417	0.5432	57
33	0.5446	0.5461	0.5476	0.5490	0.5505	0.5519	0.5534	0.5548	0.5563	0.5577	56
34	0.5592	0.5606	0.5621	0.5635	0.5650	0.5646	0.5678	0.5693	0.5707	0.5721	55
35	0.5734	0.5750	0.5764	0.5779	0.5793	0.5807	0.5821	0.5835	0.5850	0.5864	54
36	0.5878	0.5892	0.5906	0.5920	0.5934	0.5948	0.5962	0.5976	0.5990	0.6004	53
37	0.6018	0.6032	0.6046	0.6060	0.6074	0.6088	0.6101	0.6115	0.6129	0.6143	52
38	0.6157	0.6170	0.6184	0.6198	0.6211	0.6225	0.6239	0.6252	0.6266	0.6280	51
39	0.6293	0.6307	0.6320	0.6334	0.6347	0.6361	0.6374	0.6388	0.6401	0.6414	50
40	0.6428	0.6441	0.6455	0.6469	0.6481	0.6494	0.6508	0.6521	0.6534	0.6547	49
41	0.6561	0.6574	0.6587	0.6600	0.6613	0.6626	0.6639	0.6652	0.6665	0.6678	48
42	0.6691	0.6704	0.6717	0.6730	0.6743	0.6756	0.6769	0.6782	0.6794	0.6807	47
43	0.6820	0.6833	0.6845	0.6858	0.6871	0.6884	0.6896	0.6909	0.6921	0.6934	46
44	0.6947	0.6959	0.6972	0.6984	0.6997	0.7009	0.7022	0.7034	0.7046	0.7059	45
45	0.7071	0.7083	0.7096	0.7108	0.7120	0.7133	0.7145	0.7157	0.7169	0.7181	44
46	0.7193	0.7206	0.7218	0.7230	0.7242	0.7254	0.7266	0.7278	0.7290	0.7302	43
47	0.7314	0.7325	0.7337	0.7349	0.7361	0.7373	0.7385	0.7396	0.7408	0.7420	42
48	0.7431	0.7443	0.7455	0.7466	0.7478	0.7490	0.7501	0.7513	0.7524	0.7536	41
49	0.7547	0.7559	0.7570	0.7581	0.7593	0.7604	0.7615	0.7627	0.7635	0.7649	40
50	0.7660	0.7672	0.7683	0.7694	0.7705	0.7716	0.7727	0.7738	0.7749	0.7760	39
51	0.7771	0.7782	0.7793	0.7804	0.7815	0.7826	0.7837	0.7848	0.7859	0.7869	38
52	0.7880	0.7891	0.7902	0.7912	0.7923	0.7934	0.7944	0.7955	0.7965	0.7976	37
53	0.7986	0.7997	0.8007	0.8018	0.8028	0.8039	0.8049	0.8059	0.8070	0.8080	36
54	0.8090	0.8100	0.8111	0.8121	0.8131	0.8141	0.8151	0.8161	0.8171	0.8181	35
55	0.8192	0.8202	0.8211	0.8221	0.8231	0.8241	0.8251	0.8261	0.8271	0.8281	34
56	0.8290	0.8300	0.8310	0.8320	0.8329	0.8339	0.8349	0.8358	0.8368	0.8377	33
57	0.8387	0.8396	0.8406	0.8415	0.8425	0.8434	0.8443	0.8453	0.8462	0.8471	32
58	0.8480	0.8490	0.8499	0.8508	0.8517	0.8526	0.8536	0.8545	0.8554	0.8563	31
59	0.8572	0.8581	0.8590	0.8599	0.8607	0.8616	0.8625	0.8634	0.8643	0.8652	30
60	0.8660	0.8669	0.8678	0.8686	0.8695	0.8704	0.8712	0.8721	0.8729	0.8738	29
度	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	cos

續表

sin	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	度
61	0.8746	0.8755	0.8763	0.8771	0.8780	0.8788	0.8796	0.8805	0.8813	0.8821	28
62	0.8829	0.8838	0.8846	0.8854	0.8862	0.8870	0.8878	0.8886	0.8894	0.8902	27
63	0.8910	0.8918	0.8926	0.8934	0.8942	0.8949	0.8957	0.8965	0.8973	0.8985	26
64	0.8988	0.8996	0.9003	0.9011	0.9018	0.9026	0.9033	0.9041	0.9048	0.9056	25
65	0.9063	0.9070	0.9078	0.9085	0.9092	0.9100	0.9107	0.9114	0.9121	0.9128	24
66	0.9135	0.9143	0.9150	0.9157	0.9164	0.9171	0.9178	0.9184	0.9191	0.9198	23
67	0.9205	0.9212	0.9219	0.9225	0.9232	0.9239	0.9245	0.9252	0.9259	0.9265	22
68	0.9272	0.9278	0.9285	0.9291	0.9298	0.9304	0.9311	0.9317	0.9323	0.9330	21
69	0.9336	0.9342	0.9348	0.9354	0.9361	0.9367	0.9373	0.9379	0.9385	0.9391	20
70	0.9397	0.9403	0.9409	0.9415	0.9421	0.9426	0.9432	0.9438	0.9444	0.9449	19
71	0.9455	0.9461	0.9466	0.9472	0.9478	0.9483	0.9489	0.9494	0.9500	0.9505	18
72	0.9511	0.9516	0.9521	0.9527	0.9532	0.9537	0.9542	0.9548	0.9553	0.9558	17
73	0.9563	0.9568	0.9573	0.9578	0.9583	0.9588	0.9593	0.9598	0.9603	0.9608	16
74	0.9613	0.9617	0.9622	0.9627	0.9632	0.9636	0.9641	0.9646	0.9650	0.9655	15
75	0.9659	0.9664	0.9668	0.9673	0.9677	0.9681	0.9686	0.9690	0.9694	0.9699	14
76	0.9703	0.9707	0.9711	0.9715	0.9720	0.9724	0.9728	0.9732	0.9736	0.9740	13
77	0.9744	0.9748	0.9751	0.9755	0.9759	0.9763	0.9767	0.9770	0.9774	0.9778	12
78	0.9781	0.9785	0.9789	0.9792	0.9796	0.9799	0.9803	0.9806	0.9810	0.9813	11
79	0.9816	0.9820	0.9823	0.9826	0.9829	0.9833	0.9836	0.9839	0.9842	0.9845	10
80	0.9848	0.9851	0.9854	0.9857	0.9860	0.9863	0.9866	0.9869	0.9871	0.9874	9
81	0.9877	0.9880	0.9882	0.9885	0.9888	0.9890	0.9893	0.9895	0.9898	0.9900	8
82	0.9903	0.9905	0.9907	0.9910	0.9912	0.9914	0.9917	0.9919	0.9921	0.9923	7
83	0.9925	0.9928	0.9930	0.9932	0.9934	0.9936	0.9938	0.9940	0.9942	0.9943	6
84	0.9945	0.9947	0.9949	0.9951	0.9952	0.9954	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	5
85	0.9962	0.9963	0.9965	0.9966	0.9968	0.9969	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974	4
86	0.9976	0.9977	0.9978	0.9979	0.9980	0.9981	0.9982	0.9983	0.9984	0.9985	3
87	0.9986	0.9987	0.9988	0.9989	0.9990	0.9990	0.9991	0.9992	0.9993	0.9993	2
88	0.9994	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998	0.9998	1
89	0.9998	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0
度	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	cos

表 1-12 正切余切函数表

tg	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	度
0°	0.0000	0.0017	0.0035	0.0052	0.0070	0.0087	0.0105	0.0122	0.0140	0.0157	89
1	0.0175	0.0192	0.0209	0.0237	0.0244	0.0262	0.0279	0.0297	0.0314	0.0332	88
2	0.0349	0.0367	0.0384	0.0402	0.0419	0.0437	0.0454	0.0472	0.0489	0.0507	87
3	0.0524	0.0542	0.0559	0.0577	0.0594	0.0612	0.0629	0.0647	0.0664	0.0682	86
4	0.0699	0.0717	0.0734	0.0752	0.0769	0.0787	0.0805	0.0822	0.0840	0.0857	85
5	0.0875	0.0892	0.0910	0.0928	0.0945	0.0963	0.0981	0.0998	0.1016	0.1033	84
6	0.1051	0.1069	0.1086	0.1104	0.1122	0.1139	0.1157	0.1175	0.1192	0.1210	83
7	0.1228	0.1246	0.1269	0.1281	0.1299	0.1317	0.1334	0.1352	0.1370	0.1388	82
8	0.1405	0.1423	0.1441	0.1459	0.1477	0.1495	0.1512	0.1530	0.1548	0.1566	81
9	0.1584	0.1602	0.1620	0.1638	0.1655	0.1673	0.1691	0.1709	0.1727	0.1745	80
10	0.1763	0.1781	0.1799	0.1817	0.1835	0.1853	0.1871	0.1890	0.1908	0.1926	79
11	0.1944	0.1962	0.1980	0.1998	0.2016	0.2035	0.2053	0.2071	0.2089	0.2107	78
12	0.2126	0.2144	0.2162	0.2180	0.2199	0.2217	0.2235	0.2254	0.2272	0.2290	77
13	0.2309	0.2327	0.2345	0.2364	0.2382	0.2401	0.2419	0.2438	0.2456	0.2475	76
14	0.2493	0.2512	0.2530	0.2549	0.2568	0.2586	0.2605	0.2623	0.2642	0.2661	75
15	0.2679	0.2698	0.2717	0.2736	0.2754	0.2773	0.2792	0.2811	0.2830	0.2849	74
16	0.2867	0.2886	0.2905	0.2924	0.2943	0.2962	0.2981	0.3000	0.3019	0.3038	73
17	0.3057	0.3076	0.3096	0.3115	0.3134	0.3153	0.3172	0.3191	0.3211	0.3230	72
18	0.3249	0.3269	0.3288	0.3307	0.3327	0.3346	0.3365	0.3385	0.3404	0.3424	71
19	0.3443	0.3463	0.3482	0.3502	0.3522	0.3541	0.3561	0.3581	0.3600	0.3620	70
20	0.3640	0.3659	0.3679	0.3699	0.3719	0.3739	0.3759	0.3779	0.3799	0.3819	69
21	0.3839	0.3859	0.3879	0.3899	0.3919	0.3939	0.3959	0.3979	0.4000	0.4020	68
22	0.4040	0.4061	0.4081	0.4101	0.4122	0.4142	0.4163	0.4183	0.4204	0.4224	67
23	0.4245	0.4265	0.4286	0.4307	0.4327	0.4348	0.4369	0.4390	0.4411	0.4431	66
24	0.4452	0.4473	0.4494	0.4515	0.4536	0.4557	0.4578	0.4599	0.4621	0.4642	65
25	0.4663	0.4684	0.4706	0.4727	0.4748	0.4770	0.4791	0.4813	0.4834	0.4856	64
26	0.4877	0.4899	0.4921	0.4942	0.4964	0.4986	0.5008	0.5029	0.5051	0.5073	63
27	0.5095	0.5117	0.5139	0.5161	0.5184	0.5206	0.5228	0.5250	0.5272	0.5295	62
28	0.5317	0.5340	0.5362	0.5384	0.5407	0.5430	0.5452	0.5475	0.5498	0.5520	61
29	0.5543	0.5566	0.5589	0.5612	0.5635	0.5658	0.5681	0.5704	0.5727	0.5750	60
30	0.5774	0.5797	0.5820	0.5844	0.5867	0.5890	0.5914	0.5938	0.5961	0.5985	59
度	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	ctg

續表

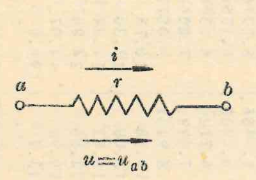
tg	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	度
31	0.6009	0.6032	0.6056	0.6080	0.6104	0.6128	0.6152	0.6176	0.6200	0.6224	58
32	0.6249	0.6273	0.6297	0.6322	0.6346	0.6371	0.6395	0.6420	0.6445	0.6469	57
33	0.6494	0.6519	0.6544	0.6569	0.6594	0.6619	0.6644	0.6669	0.6694	0.6720	56
34	0.6745	0.6771	0.6796	0.6822	0.6847	0.6873	0.6899	0.6924	0.6950	0.6976	55
35	0.7002	0.7028	0.7054	0.7080	0.7107	0.7133	0.7159	0.7186	0.7212	0.7239	54
36	0.7265	0.7292	0.7319	0.7346	0.7373	0.7400	0.7427	0.7454	0.7481	0.7508	53
37	0.7536	0.7563	0.7590	0.7618	0.7646	0.7673	0.7701	0.7729	0.7757	0.7785	52
38	0.7813	0.7841	0.7869	0.7898	0.7926	0.7954	0.7983	0.8012	0.8040	0.8069	51
39	0.8090	0.8127	0.8159	0.8185	0.8214	0.8243	0.8273	0.8302	0.8332	0.8361	50
40	0.8391	0.8421	0.8451	0.8481	0.8511	0.8541	0.8571	0.8601	0.8632	0.8662	49
41	0.8693	0.8724	0.8754	0.8785	0.8816	0.8847	0.8878	0.8910	0.8941	0.8972	48
42	0.9004	0.9036	0.9067	0.9099	0.9131	0.9163	0.9195	0.9228	0.9260	0.9293	47
43	0.9325	0.9358	0.9391	0.9424	0.9457	0.9490	0.9523	0.9556	0.9590	0.9623	46
44	0.9657	0.9691	0.9725	0.9759	0.9793	0.9827	0.9861	0.9899	0.9930	0.9965	45
45	1.0000	1.0035	1.0070	1.0105	1.0141	1.0176	1.0212	1.0247	1.0283	1.0319	44
46	1.0355	1.0392	1.0428	1.0464	1.0501	1.0538	1.0575	1.0612	1.0649	1.0686	43
47	1.0724	1.0761	1.0799	1.0837	1.0875	1.0913	1.0951	1.0990	1.1028	1.1067	42
48	1.1106	1.1145	1.1184	1.1224	1.1263	1.1303	1.1343	1.1383	1.1423	1.1463	41
49	1.1504	1.1544	1.1585	1.1626	1.1667	1.1708	1.1750	1.1792	1.1833	1.1875	40
50	1.1918	1.1960	1.2002	1.2045	1.2088	1.2131	1.2174	1.2218	1.2261	1.2305	39
51	1.2349	1.2393	1.2437	1.2482	1.2527	1.2572	1.2617	1.2662	1.2708	1.2753	38
52	1.2799	1.2836	1.2892	1.2938	1.2985	1.3032	1.3079	1.3127	1.3175	1.3222	37
53	1.3270	1.3319	1.3367	1.3416	1.3465	1.3514	1.3564	1.3613	1.3663	1.3713	36
54	1.3764	1.3814	1.3865	1.3916	1.3968	1.4019	1.4071	1.4124	1.4176	1.4229	35
55	1.4281	1.4335	1.4388	1.4442	1.4496	1.4550	1.4496	1.4605	1.4715	1.4770	34
56	1.4826	1.4882	1.4938	1.4994	1.5051	1.5108	1.5166	1.5224	1.5282	1.5340	33
57	1.5399	1.5458	1.5517	1.5577	1.5637	1.5697	1.5757	1.5818	1.5880	1.5941	32
58	1.6000	1.6066	1.6128	1.6191	1.6255	1.6319	1.6383	1.6447	1.6512	1.6577	31
59	1.6643	1.6709	1.6775	1.6842	1.6909	1.6977	1.7045	1.7113	1.7182	1.7252	30
60	1.7321	1.7391	1.7461	1.7532	1.7603	1.7675	1.7747	1.7820	1.7893	1.7966	29
61	1.8040	1.8115	1.8190	1.8265	1.8341	1.8418	1.8495	1.8572	1.8650	1.8728	28
62	1.8807	1.8887	1.8967	1.9047	1.9128	1.9210	1.9292	1.9375	1.9458	1.9542	27
63	1.9626	1.9711	1.9797	1.9883	1.9970	2.0057	2.0145	2.0233	2.0323	2.0413	26
64	2.0503	2.0594	2.0686	2.0778	2.0872	2.0965	2.1060	2.1155	2.1251	2.1348	25
65	2.1445	2.1543	2.1642	2.1742	2.1842	2.1943	2.2045	2.2148	2.2251	2.2355	24
66	2.2460	2.2566	2.2673	2.2781	2.2889	2.2998	2.3109	2.3220	2.3332	2.3445	23
67	2.3559	2.3673	2.3789	2.3906	2.4023	2.4142	4.4262	2.4383	2.4504	2.4627	22
68	2.4751	2.4876	2.5002	2.5129	2.5257	2.5386	2.5517	2.5649	2.5782	2.5916	21
69	2.6051	2.6187	2.6325	2.6464	2.6605	2.6746	2.6889	2.7034	2.7179	2.7326	20
70	2.7475	2.7625	2.7776	2.7929	2.8083	2.8239	2.8397	2.8556	2.8716	2.8878	19
71	2.9042	2.9208	2.9375	2.9544	2.9174	2.9887	3.0061	3.0237	3.0415	3.0595	18
72	3.0777	3.0961	3.1146	3.1334	3.1524	3.1716	3.1910	3.2106	3.2305	3.2506	17
73	3.2709	3.2914	3.3122	3.3332	3.3544	3.3759	3.3977	3.4197	3.4420	3.4646	16
74	3.4874	3.5105	3.5339	3.5576	3.5816	3.6059	3.6305	3.6554	3.6806	3.7062	15
75	3.7321	3.7583	3.7848	3.8118	3.8391	3.8667	3.8947	3.9232	3.9520	3.9812	14
76	4.0108	4.0408	4.0713	4.1022	4.1335	4.1653	4.1976	4.2303	4.2635	4.2972	13
77	4.3315	4.3662	4.4015	4.4374	4.4737	4.5107	4.5483	4.5864	4.6252	4.6646	12
78	4.7046	4.7457	4.7863	4.8288	4.8716	4.9152	4.9594	5.0045	5.0504	5.0970	11
79	5.1446	5.1929	5.2422	5.2924	5.3435	5.3955	5.4486	5.5026	5.5578	5.6140	10
80	5.6713	5.7297	5.7894	5.8502	5.9124	5.9758	6.0405	6.1066	6.1742	6.2432	9
81	6.3138	6.3859	6.4596	6.5350	6.6122	6.6912	6.7720	6.8548	6.9395	7.0264	8
82	7.1154	7.2066	7.3002	7.3962	7.4947	7.5958	7.6996	7.8062	7.9158	8.0285	7
83	8.1443	8.2636	8.3863	8.5126	8.6427	8.7769	8.9152	9.0579	9.2052	9.3572	6
84	9.5144	9.677	9.845	10.02	10.20	10.39	10.58	10.78	10.99	11.20	5
85	11.43	11.66	11.91	12.16	12.43	12.71	13.00	13.30	13.62	13.95	4
86	14.30	14.67	15.06	15.46	15.89	16.35	16.83	17.34	17.89	18.46	3
87	19.08	19.74	20.45	21.20	22.02	22.90	23.86	24.90	26.03	27.27	2
88	28.64	30.14	31.82	33.69	35.80	38.19	40.92	44.07	47.74	52.08	1
89	57.29	63.66	71.62	81.85	95.49	114.6	143.2	191.0	286.5	573.0	0
度	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	ctg

1-2 电工学基本定律及計算公式

1.电路中的元件

电路中的元件共有三种:

(1)电阻r(图1-1)



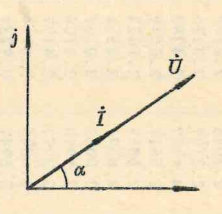


图1-1

如果 $i=\sqrt{2}I\sin(\omega t+\alpha)$,

则 $u=\sqrt{2}Ir\sin(\omega t+\alpha)$.

用复数表示时，$\dot{U}=r\dot{I}$. (1-1)

电阻的倒数称为电导，$g=\frac{1}{r}$,

故 $\dot{I}=g\dot{U}$.

(2)电感L(图1-2)

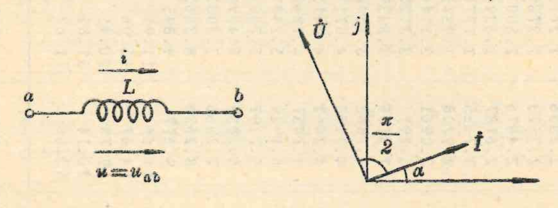


图1-2

如果 $i=\sqrt{2}I\sin(\omega t+\alpha)$,

则 $u=\sqrt{2}\,\omega LI\sin\left(\omega t+\alpha+\frac{\pi}{2}\right)$

$=\sqrt{2}X_LI\sin\left(\omega t+\alpha+\frac{\pi}{2}\right)$,

式中 $X_L=\omega L$称为感抗。

用复数表示时，$\dot{U}=jX_L\dot{I}$. (1-2)

感抗的倒数称为感納，$b_L=\frac{1}{X_L}$,

故 $\dot{I}=-jb_L\dot{U}$.

(3)电容C(图1-3)

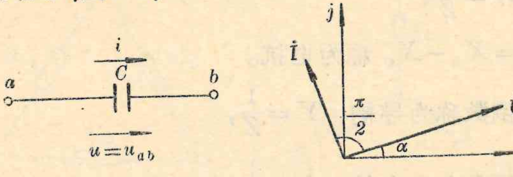


图1-3

如果 $u=\sqrt{2}U\sin(\omega t+\alpha)$,

则 $i=\sqrt{2}\,\omega CU\sin\left(\omega t+\alpha+\frac{\pi}{2}\right)$

$=\sqrt{2}\frac{U}{X_L}\sin\left(\omega t+\alpha+\frac{\pi}{2}\right)$,

式中 $X_C=\frac{1}{\omega C}$称为容抗。

用复数表示时，$\dot{I}=j\frac{U}{X_C}$. (1-3)

容抗的倒数称为容納，$b_C=\frac{1}{X_C}$,

故 $\dot{I}=jb_C\dot{U}$.

(4)电阻、电感和电容串联时(图1-4)

图1-4

用复数表示时，$\dot{U}=\dot{Z}\dot{I}$， (1-4)

式中 $\dot{Z}=R+jX_L-jX_C=R+j(X_L-X_C)=R+jX$
$=Z(\cos\varphi-j\sin\varphi)$。

其中 $Z=\sqrt{R^2+\left(\omega L-\dfrac{1}{\omega C}\right)^2}$ 称为全阻抗(簡称阻抗)；

$\cos\varphi=\dfrac{R}{Z}$ 称为功率因数；

$\sin\varphi=\dfrac{x}{Z}$；

$X=X_L-X_C$ 称为电抗。

阻抗的倒数称为导納 $Y=\dfrac{1}{Z}$，

电抗的倒数称为电納 $b=\dfrac{1}{X}$。

(5)阻抗的化簡和变换

1)串联(图1-5)总阻抗 $\dot{Z}=\dot{Z}_1+\dot{Z}_2+\dot{Z}_3$。 (1-5)

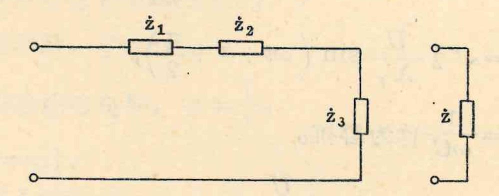


图 1-5 串联电路

2)并联(图1-6)总阻抗 $\dot{Z}=\dfrac{1}{\dfrac{1}{\dot{Z}_1}+\dfrac{1}{\dot{Z}_2}+\dfrac{1}{\dot{Z}_3}}$。 (1-6)

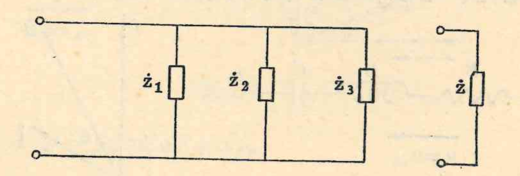


图 1-6 并联电路

3)三角形变为星形(图1-7)

$$\dot{Z}_1=\frac{\dot{Z}_{12}\dot{Z}_{31}}{\dot{Z}_{12}+\dot{Z}_{23}+\dot{Z}_{31}};\quad (1-7)$$

$$\dot{Z}_2=\frac{\dot{Z}_{23}\dot{Z}_{12}}{\dot{Z}_{12}+\dot{Z}_{23}+\dot{Z}_{31}};\quad (1-8)$$

$$\dot{Z}_3=\frac{\dot{Z}_{31}\dot{Z}_{23}}{\dot{Z}_{12}+\dot{Z}_{23}+\dot{Z}_{31}}.\quad (1-9)$$

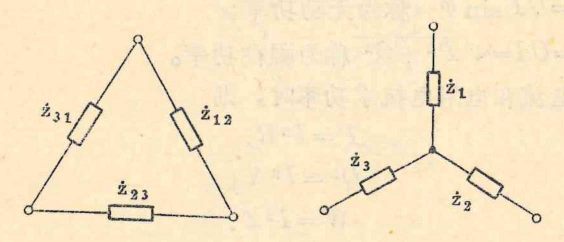


图 1-7 △—人接綫图

4)星形变为三角形(图1-7)

$$\dot{Z}_{12}=\dot{Z}_1+\dot{Z}_2+\frac{\dot{Z}_1\dot{Z}_2}{\dot{Z}_3};\quad (1-10)$$

$$\dot{Z}_{23}=\dot{Z}_2+\dot{Z}_3+\frac{\dot{Z}_2\dot{Z}_3}{\dot{Z}_1};\quad (1-11)$$

$$\dot{Z}_{31}=\dot{Z}_3+\dot{Z}_1+\frac{\dot{Z}_3\dot{Z}_1}{\dot{Z}_2}.\quad (1-12)$$

2.功率計算

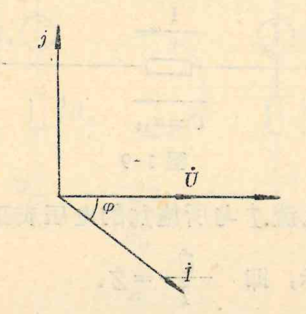


图 1-8

$$\dot{W}=\hat{U}\dot{I}，\hat{U}为\dot{U}的共轭复数。\tag{1-13}$$

如 $\hat{U}=U$，即$\hat{U}$的初相角α等于零。

$$\dot{I}=I(\cos\varphi-j\sin\varphi)，$$

则 $$\dot{W}=UI(\cos\varphi-j\sin\varphi)=UI\cos\varphi-jUI\sin\varphi$$
$$=P-jQ；$$

式中 $P=UI\cos\varphi$ 称为有功功率；

$Q=UI\sin\varphi$ 称为无功功率；

$W=UI=\sqrt{P^2+Q^2}$ 称为視在功率。

如用电流和电阻电抗求功率时，则

$$P=I^2R；\tag{1-14}$$

$$Q^2=I^2X；\tag{1-15}$$

$$W=I^2Z.\tag{1-16}$$

上述公式对于单相而言，如果在对称的三相系統中求三相功率，其公式如下：

$$P=\sqrt{3}UI\cos\varphi \quad 或 \quad P=3I^2R；\tag{1-17}$$

$$Q=\sqrt{3}UI\sin\varphi \quad 或 \quad Q=3I^2X；\tag{1-18}$$

$$W=\sqrt{3}UI \quad 或 \quad W=3I^2Z.\tag{1-19}$$

此时，U指綫电压，而不是相电压。

3.三个基本定律

（1）欧姆定律

图 1-9

电路中通过的电流$\dot{I}$与所施加的电压成正比。

用复数公式表示，即 $$\frac{\dot{U}}{\dot{I}}=\dot{Z}.\tag{1-20}$$

比例常数$\dot{Z}$即为阻抗。

（2）对任意一个結点而言，流入或流出此結点的电流的代数和恆等于零。

即 $$\Sigma\dot{I}=0.$$

此时若以流入結点的电流为正（如$\dot{I}_1$、$\dot{I}_3$），則从結点流出的电流为負（如$\dot{I}_2$、$\dot{I}_4$）。在图1-10的情况下，

$$\dot{I}_1+\dot{I}_3-\dot{I}_2-\dot{I}_4=0.\tag{1-21}$$

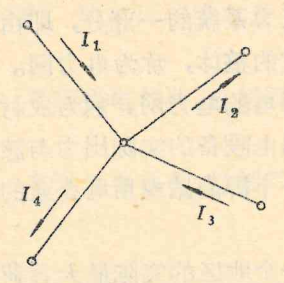


图 1-10

（3）回路中电势的代数和等于电压降的代数和。

即 $$\Sigma E=\Sigma U.$$

此时电势与电压的方向与某一指定方向相同时算作正，与指定方向相反时算作負。在图1-11的情况下，

$$\dot{E}_1-\dot{E}_2=\dot{U}_1+\dot{U}_2-\dot{U}_3-\dot{U}_4.\tag{1-22}$$

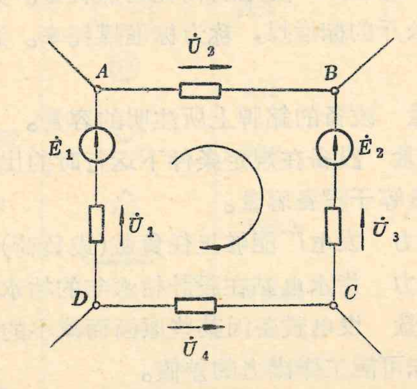


图 1-11

1-3 农村供电规划常用术語解釋

1.电力系統　由发电厂电气設备、变电所、电力綫路以及用戶用电設备按一定規則連接起来的整体，称为电力系統。

主要供农村用电的电力系統，称为农村电力系統。

2.电力网　电力系統的一部分，即由变电所、电力綫路以及用戶用电設备組成的整体，称为电力网。

主要供农村用电的电力网，称为农村电力网。

3.負載率　用电設备的实际出力与該設备容量的比值。

4.需用率　一个排灌站或用电企业的最大負荷与設备容量总和的比值。

5.同时率　一个地区的实际最大負荷与該地区內各用戶（或变电站）本身最大負荷之和的比值，称为这些用戶（或变电站）之間的同时率(分子分母必須都包括网損率或都不包括网損率)。

6.网損率　在电力网最大負荷时，綫路和变压器損失的电力与該最大負荷减去損失后所得数值的比值。

7.厂用电率　发电厂自用电力与发电厂供給电力网电力的比值。

8.煤耗率　每生产一度电所消耗的煤炭量。如果煤耗量折算成7000大卡/公斤的标准煤，称为标准煤耗率。通常把标准煤耗率簡称煤耗率。

9.設备容量　設备的銘牌上所注明的容量。

10.額定容量　設备在規定条件下运行时的出力，在一般情况下，額定容量等于設备容量。

11.工作出力　发电厂能够担任負載(或負荷)的能力。

12.保証出力　指水电站在設計枯水年的枯水期月平均出力。

13.受阻容量　发电設备因某些原因而减小的部分出力，即設备容量与实际可能工作出力的差值。

14.备用容量　为了保証电力系統正常和安全运行，滿足負荷波动以及設备在事故和檢修时的供电需要而設置的容量。

15.备用率　备用容量与最大发电負荷的比值，以百分数表示。

16.負荷密度　单位面积(如公里^2)內的电力負荷称为負荷密度。

17.最大負荷利用小时　年用电量与最大負荷的比值。

18.发电設备利用小时　发电厂年发电量与发电設备容量的比值。

19.供电最大負荷　又叫供电負荷，包括网損在內的电力网的最大負荷。

20.发电最大負荷　也叫发电負荷，包括厂用电在內的发电厂的实际最大負荷。

1-4 农村供电规划常用图例及符号

表1-13　供电規划地理接綫图常用图例

名　　称	图　　例	名　　称	图　　例
水力发电厂	[framed box with ~]	电纜綫	→—←
火力发电厂	[box with ~]	鉄路	[railway symbol]
110千伏变电所	◎	公路	[curved line]
35～60千伏变电所	○	河流	[double curved lines]
6～10千伏变电所	△	大城市	[hatched rectangle]
110千伏电力綫	[thick line]	小城鎮	[hatched circle]
35千伏电力綫	[medium line]	人民公社	●
6～10千伏电力綫	[thin line]		

表1-14 供电規划单綫結綫图及阻抗图等常用符号

名称	符号	名称	符号
交流发电机		油开关	
直流发电机		隔离开关(刀閘)	
同期調相机		負荷开关	
电动机		熔断器	
双綫卷变压器		电流互感器	
三綫卷变压器		电压互感器	
带負荷調压变压器		蓄电池	
自耦变压器		整流器	
限流电抗器		电容	
消弧綫圈		电阻	
接地		电抗	
閥型避雷器		阻抗	

表 1-15 基本电气量代表符号

名称	符号	名称	符号
电流	I, i	导納	Y, y
电压	U, u	电阻	R, r
电势	E, e	电抗	X, x
有功功率	P	阻抗	Z, z
无功功率	Q	电阻系数	ρ
視在功率	W	电感，自感系数	L
功率因数	$\cos\varphi$	电容	C
电导	G, g	頻率	f
电納	B, b	角速度	ω

表 1-16 常用单位符号

单位名称	符号	单位名称	符号
公里	km	安培	A
米	m	伏特	V
厘米	cm	千伏	KV
毫米	mm	瓦	W
吨	T	瓩	KW
公斤	kg	兆瓦	MW
克	g	伏安	VA
小时	h, H	千伏安	KVA
秒	sec	兆伏安	MVA
米^2	m^2	千乏	KVAR
厘米^2	cm^2	馬力	HP
毫米^2	mm^2	欧姆	Ω
米^3,公方	m^3	兆欧	MΩ
厘米^3	cm^3	电度(瓩小时)	KWH
公方/秒	m^3/sec		

第二章　农村供电方案的技术经济比较方法及发送变电工程综合经济指标

2-1 概　　述

农村供电规划的任务，是根据国家計划和人民公社集体經济的要求，根据国家既定的方針政策，因时因地制宜地提出規划地区內实現农村电气化的方案，这些方案在技术經济上要合理，运行管理上要簡便，并且适应我国农村当前的具体情况。

在規划地区內农业負荷及其他用戶所需电力的数值确定以后（負荷一般預計期限在5年左右），就可以根据地区动力資源、負荷特性以及地区情况，拟制几种看来大致合理的供电方案。一般說来，农村供电規划中遇到的方案比較，有下面两个方面：

（1）提出取得电源的方式　即解决規划地区的用电是用架設高压电力綫路，从已有的区域电力系統取得电源，还是在本地区建立中小型的水电厂或火电厂。如果是火电厂，还需提出火电厂燃料的来源和运輸燃料的方法。

（2）供电地区电力网的結构　包括电力网采用的各級电压、綫路連接方式、变电所的分布和容量以及选择各种电气設备等。

在具体做供电規划时，应把遇到的問題（可能不是上述內容的全部，而只是其中一部分，如供电电源的选择或电力网中的某个技术問題），列出几个方案进行技术經济比較，选择其中最佳的方案。

2-2 供电方案的技术經济比較方法

1.技术經济比較的前提

参加比較的供电方案，都应满足农业供电的技术要求，这些

要求主要是：

（1）满足用戶对供电的安全和可靠性的要求；

（2）电能质量应符合要求，特别是电压要符合規定；

（3）运行管理便利，操作檢修方便。

2.經济計算方法

农村供电方案，在满足以上供电技术要求的前提下，方可进行各种供电方案的經济比較，比較的项目应該包括：

（1）方案的总投資；

（2）方案的年运行費用；

（3）根据需要情况，还应作出各种方案的原材料消耗，主要是銅、鋁、鋼材和木材的消耗。

方案的总投資和年运行費用，是衡量方案优劣的两个主要项目；当然，投資及年运行費用最小的方案是最經济的方案。

在方案比較中，有时要受到国家（或地区）对某些原材料生产和供应的限制，例如对銅、鋁、鋼材、木材及煤炭等物資生产和供应的限制；这样，在选擇方案时就应考虑这些因素，有时甚至成为决定方案的因素。

需要特別注意：在方案比較时不能单凭总投資最小来評定方案的优劣；同样，也不能只凭着年运行費用最小来权衡方案的优劣。

如果仅以方案的总投資最小作为选取方案的唯一指标，这种方法虽然使得国家的基本建設投資，在一定的意义上得到了节省，但是有时投資指标的节約，是由于降低了方案的技术装备水平、降低劳动生产率而得到的。这样就会造成增加电能成本、降低电能质量的不良后果。当然也有投資最省即是最优方案的可能，但一般說来，仅用投資最小的計算方法来作为經济比較的判据是不全面的。

如果仅以年运行費用作为选取方案的唯一指标，这种方法在大多数情况下，是由于初投資較大而提高了方案的技术装备水平

和劳动生产率，使得生产电能的总成本有所降低。但是国家分配資金是有限額的，如在某一方案中投入大量資金，即使每年的生产成本很低，但就会由此而使得其他經济部門減少了相应的投資，这样就有可能影响国民經济发展的合理比例和国民經济发展的速度。因此仅用年运行費用最小的計算方法来做为經济比較的判据也是不全面的。

因此，方案的經济比較应該用方案的总投資和年运行費全面地来衡量。即前面所說的以投資及年运行費用均最小的方案才是經济上最好的方案。但是往往在方案的經济計算中出現有一个方案的投資大、年运行費小，而另一个方案的投資小、年运行費大，在这样的情况下，究竟如何考虑投資和年运行費的綜合效果呢？也就是說，对方案投資的差額与年运行費的差額如何相互衡量呢？这是一个十分重要的課題。

目前一般采用的是“抵偿年限”的方法：即当方案1的投資Z_1大于方案2的投資Z_2，而方案1的年运行費F_1却小于方案2的年运行費F_2时，即用計算投資抵偿年限N来确定。

$$N=\frac{Z_1-Z_2}{F_2-F_1}. \qquad (2\text{-}1)$$

抵偿年限的标准值在农村供电規划中一般可取为5年。

当抵偿年限小于抵偿年限标准值时，应认为投資較高的方案在經济上是有利的；反之，抵偿年限大于抵偿年限标准值时，則认为投資較低的方案在經济上是有利的。

对于多个方案进行比較时，为了簡化計算，可以把抵偿年限的計算公式变換一下(純数学上的变换)，称之为計算費用$F_{j.s}$最小的方法，即比較諸方案的計算費用，如下式：

$$F_{j.s.1}=\frac{Z_1}{N_{b.zh}}+F_1,$$

$$F_{j.s.2}=\frac{Z_2}{N_{b.zh}}+F_2,$$

$$\cdots\cdots \qquad (2\text{-}2)$$

式中 $N_{b.zh}$——抵偿年限标准值。

当某一方案的計算費用最小时，即认为該方案在經济上是最有利的。

当各方案的投資和年运行費(或計算費用)相差不大时，应該优先采用具有下列情况的方案。

(1)具有分期投資的可能性，尽量使得国家的資金能得到最充分合理的使用；

(2)能大量节約鋼、銅、鋁和木材等原材料；

(3)技术条件比較优越，运行管理比較方便；

(4)建設时間显著縮短；

(5)能适应远景发展的需要和便于方案的过渡。

此外还应注意到設备供应的可能性和农村交通运輸的条件等。

3.方案比較的經济計算范圍

(1)方案投資的計算范圍　在进行一个农村动力系統的供电規划方案計算时，为了簡化計算，一般可以只比較諸方案的不同部分，而不計算各方案相同部分的投資。

計算中对于新建的农村动力系統方案，应計算发、送、变、配电設备的全部投資；对于扩建的系統方案，应計算系統中有关发、送、变、配电設备的新扩建部分的投資(包括无功补偿装置、調压設备等)。

在計算中，还应包括某些方案由于相对地增大电力損失，从而增加了系統装机容量的补充瓩投資。

如果在經济比較中，涉及到需要其它国民經济部門增加投資，則在方案比較中必須分别情况計算这一部分的投資；例如，在水火电站比較中，火电站的总投資中应該包括煤矿的投資。

由区域电力系統向农村供电时，电源部分的投資，可以按該电力系統內可能装設的大型机組的投資，用分攤方法而得到。比如在大电力系統內建設一台12000瓩的机組需900万元，如果系統向农村供电6000瓩，則农村电源按比例分攤的投資即为450万元。

(2)方案的年运行費用的計算范圍　农村供电方案年运行費

用計算，应該包括以下各项：

1)各种設备（包括发电厂、变电所、电力綫路以及系統中的无功功率补偿設备、調压設备等)的年折旧费；

2)各种設备的年維护费用和修理费用；

3)厂用电、綫路及变压器年能量損失费用；

4)工作人員工資；

5)电厂的年运行费用中的燃料消耗费用。

2-3 发送变电工程綜合經济指标

1. 概 述

为合理地編制农村供电规划和設計，需要有进行方案比較使用的技术經济指标。由于我国地区辽闊，地形复杂，气候变化很大，各地的情况又都有比較大的差别，因此很难編出一套适合全国各地区使用的技术經济指标。这里仅介紹一下一般平原地区和寒温带气候区域适用的指标（在其他地区和气象条件下，可用表2-39的修正系数），这些指标仅作为规划工作的参考。各地区在作规划时需根据本地区的具体条件进行修正或重新編制。

2. 綜合經济指标

（1）小型火力发电厂綜合經济指标

表 2-1 新建小型火力发电厂投資

电厂容量(瓩)	机組型式	鍋炉蒸发量(吨/时)	总造价(万元)	单位瓩投資(元/瓩)
1500	2×ГК-0.75	2×6.5	150 177	1000 1180
3000	2×ГК-1.5	2×10	270 300	900 1000
6000	2×АК-3	2×20	504 541	840 900
12000	2×АК-6	2×35	876 960	730 800

注：各投資指标中列入两个数据，上面一个是推荐的一般标准，下面的数据为上限值。

（2）电力綫路綜合經济指标

表 2-2 0.38～10千伏配电綫路綜合投資

导綫种类	导綫牌号	木杆綫路綜合投資(万元/公里)			水泥杆綫路綜合投資(万元/公里)		
		0.38千伏	6千伏	10千伏	0.38千伏	6千伏	10千伏
鋼(鉄)絞綫	G-25	0.140	0.247	0.261	0.233	0.309	0.322
	G-35	0.205	0.290	0.300	0.284	0.348	0.362
	G-50	0.261	0.350	0.362	0.335	0.410	0.423
	G-70	0.362	0.450	0.460	0.429	0.500	0.512
	G-95	0.400	0.490	0.500	0.489	0.541	0.552
单股鋼(鉄)綫	G-φ3.5	0.134	0.251	0.273	0.247	0.347	0.369
	G-φ4	0.140	0.255	0.277	0.252	0.350	0.372
	G-φ5	0.152	0.268	0.290	0.266	0.364	0.385
	G-φ6	0.160	0.275	0.297	0.286	0.370	0.392
鋁絞綫	L-16	0.222	0.361	0.386	0.356	0.473	0.498
	L-25	0.255	0.390	0.407	0.387	0.493	0.518
	L-35	0.294	0.416	0.438	0.408	0.511	0.533
	L-50	0.344	0.450	0.467	0.438	0.528	0.545
	L-70	0.446	0.556	0.573	0.541	0.634	0.651
	L-95	0.563	0.678	0.695	0.656	0.756	0.774
	L-120	—	0.825	0.842	—	0.903	0.920
	L-150	—	0.984	1.001	—	1.062	1.079
銅絞綫	T-16	0.476	—	—	0.590	—	—
	T-25	0.662	—	—	0.776	—	—
	T-35	0.869	—	—	0.984	—	—
	T-50	1.148	—	—	1.242	—	—
	T-70	1.617	—	—	1.704	—	—
	T-95	2.134	—	—	2.220	—	—

表 2-3　380/220伏电力綫路綜合投資

导綫种类	导綫牌号	木杆綫路綜合投資(万元/公里)	水泥杆綫路綜合投資(万元/公里)
鋁絞綫	L-(3×16+1×16)	0.251	0.385
	L-(3×25+1×16)	0.284	0.415
	L-(3×35+1×16)	0.323	0.436
	L-(3×50+1×25)	0.420	0.514
	L-(3×70+1×35)	0.506	0.60
	L-(3×95+1×50)	0.644	0.738
銅絞綫	T-(3×16+1×10)	0.545	0.659
	T-(3×25+1×16)	0.784	0.897
	T-(3×35+1×16)	0.989	1.103
	T-(3×50+1×25)	1.329	1.422
	T-(3×70+1×35)	1.869	1.923
	T-(3×95+1×50)	2.481	2.568

表 2-4　35～110千伏电力綫路綜合投資

导綫种类	导綫牌号	木杆綫路綜合投資(万元/公里)	水泥杆綫路綜合投資(万元/公里)		
		35千伏	35千伏	60千伏	110千伏
鋼(鉄)絞綫	G-25	0.559	0.654	—	—
	G-35	0.601	0.707	—	—
	G-50	0.668	0.782	—	—
	G-70	0.782	0.905	—	—
	G-95	0.855	0.973	—	—
鋼芯鋁綫	LG-35	0.674	0.780		
	LG-50	0.789	0.904	1.044	
	LG-70	0.812	1.033	1.165	1.267
	LG-95	1.138	1.260	1.385	1.500
	LG-120	1.283	1.403	1.566	1.636
	LG-150	1.486	1.631	1.791	1.854
	LG-185	1.715	1.864	2.066	2.114

注：綜合投資指标系指单基杆綫路的。双基杆綫路的投資須增加表 2-40 中的修正值。

表 2-5　0.38～10千伏电力綫路(鋁导綫)主要材料消耗

(单位：鋼材、水泥，吨/公里；木材，米³/公里)

导綫截面(毫米²)	每公里鋁导綫重量(吨/公里)		木杆材料消耗				水泥杆材料消耗			
			0.38千伏		6～10千伏		0.38千伏		6～10千伏	
	三相三綫制	四相四綫制	鋼材	木材	鋼材	木材	鋼材	水泥	鋼材	水泥
16	0.129	0.172	0.30	4.4	0.32	8.3	2.0	5.3	2.4	2.9
25	0.198	0.241	0.29	4.2	0.31	7.8	1.9	5.0	2.3	2.8
35	0.282	0.325	0.26	3.8	0.28	7.0	1.7	4.6	2.25	2.5
50	0.405	0.471	0.21	3.1	0.77	5.8	1.4	3.9	1.7	2.15
70	0.564	0.658	0.21	3.1	0.77	5.8	1.4	3.9	1.7	2.15
95	0.768	0.903	0.21	3.1	0.77	5.8	1.4	3.9	1.7	2.15
120	0.969				0.77	5.8	1.4		1.7	2.15
150	1.230				0.77	5.8	1.4		1.7	2.15
185	1.488				0.77	5.8	1.4		1.7	2.15

注：1.导綫重量未計及損耗。

2.主要材料系参照有关資料估算的。

表 2-6　35～110千伏电力綫路(鋼芯鋁綫)主要材料消耗

(单位：鋼材、水泥，吨/公里；木材，米³/公里)

导綫截面(毫米²)	每公里鋼芯鋁綫重量(吨/公里)			木杆材料消耗		水泥杆材料消耗					
				35千伏		35千伏		60千伏		110千伏	
	导綫总重	其中鋁重	其中鋼重	鋼材	木材	鋼材	水泥	鋼材	水泥	鋼材	水泥
35	0.389	0.297	0.092	0.292	14.5	2.8	2.25				
50	0.587	0.432	0.155	0.485	15.1	3.06	2.25	3.31	2.74		
70	0.817	0.601	0.216	0.556	15.6	3.32	2.26	3.57	2.96	4.16	3.02
95	1.31	0.832	0.478	0.858	17.2	3.65	2.26	3.96	3.08	4.48	3.10
120	1.532	1.014	0.518	0.908	19.2	3.74	2.27	4.33	3.18	4.79	3.20
150	1.892	1.263	0.630	1.03	21.4	3.98	2.28	4.76	3.19	5.24	3.25
185	2.373	1.565	0.808	1.228	21.6	4.24	2.28	5.11	3.38	5.90	3.40

注：此表系根据有关資料估算的。

（3）变电所综合經济指标

表2-7 35/6～10千伏主变压器綜合經济指标

指标 / 型式	本体价格（万元/台）	綜合投資（万元/台）	主要材料消耗（木材：米^3/台，其它：吨/台）					
			鋼材	硅鋼片	銅	鋁	水泥	木材
SJ-320	0.876	1.74						
SJ-560	1.168	2.30						
SJ-750	1.440	2.60						
SJ-1000	1.776	3.00						
SJ-1800	2.696	4.14	2.95	2.51	0.66	0.04	2.12	0.35
SJ-3200	3.820	5.31	5.27	3.67	0.94	0.09	2.29	0.38
SJ-5600	5.160	6.83	9.20	5.46	1.00	0.17	2.29	0.38
SJ-7500	6.952	8.81	9.73	6.53	1.63	0.18	2.49	0.40

表2-8 60/6～10千伏主变压器綜合經济指标

指标 / 型式	本体价格（万元/台）	綜合投資（万元/台）	主要材料消耗（木材：米^3/台，其它：吨/台）					
			鋼材	硅鋼片	銅	鋁	水泥	木材
SJ-1000	2.480	4.00						
SJ-1800	3.548	5.30	5.83	3.26	0.68	0.04	4.20	0.91
SJ-3200	5.060	7.10						
SJ-5600	6.340	8.64						
SJ-7500	8.360	10.90						
SJ-10000	10.560	13.26						

表2-9 110/6～10千伏主变压器綜合經济指标

指标 / 型式	本体价格（万元/台）	綜合投資（万元/台）	主要材料消耗（木材：米^3/台，其它：吨/台）					
			鋼材	硅鋼片	銅	鋁	水泥	木材
SFL-5600	8.772	11.38						
SFL-7500	11.440	14.24						
SFL-10000	13.640	16.70	15.57	10.53	2.30	0.16	5.91	1.03
SFL-15000	16.632	19.86	18.56	13.87	2.78	0.16	6.37	1.07
SFL-20000	17.864	21.33	21.48	18.06	3.57	0.31	6.37	1.07

表2-10 110/35/6～10千伏主变压器綜合經济指标

指标 / 型式	本体价格（万元/台）	綜合投資（万元/台）	主要材料消耗（木材：米^3/台，其它：吨/台）					
			鋼材	硅鋼片	銅	鋁	水泥	木材
SFSL-5600	11.364	15.21						
SFSL-7500	14.960	18.92	18.75	12.00	2.94	0.27	9.91	1.89
SFSL-10000	17.776	22.03	18.29	12.80	4.00	0.26	9.91	1.89
SFSL-15000	21.824	26.50	23.59	21.31	4.15	0.46	10.19	1.98
SFSL-20000	23.408	28.45	32.27	23.00	7.18	0.64	10.19	1.98

表2-11 6～10千伏柱上变压器綜合投資

变压器型号	变压器本体价格（元/台）		綜合投資（元/台）	
	6千伏	10千伏	屋外配电站	柱上变压器
SJ-5/6-10	840	882		0.13
SJ-10/6-10	1040	1092		0.16
SJ-15		1260		0.18
SJ-20/6-10	1200	1260		0.18
SJ-25/6-10		1470		0.22
SJ-30/6-10	1560	1638		0.24
SJ-40/6-10		1858		0.27
SJ-50/6-10	1920	2016	0.25	0.29
SJ-75/6-10	2520	2650	0.33	0.37
SJ-100/6-10	2800	2940	0.41	0.40
SJ-150/6-10		3767	0.51	0.51
SJ-180/6-10	4000	4200	0.57	0.57
SJ-200/6-10		4419	0.60	0.59
SJ-240/6-10	4865	5150	0.71	0.68
SJ-300/6-10		5596	0.76	0.73
SJ-320/6-10	5840	6132	0.81	0.80
SJ-560/6-10	9000	9000	1.24	
SJ-750/6-10		11560	1.50	
SJ-1000/6-10		14800	1.88	

注：1.由于变压器本体价格（6千伏与10千伏）相差甚小，因此綜合投資中不計其差别。

2.上述指标中包括了变压器設备、杆塔、瓷瓶鉄件、跌落式保險、防雷保护間隙以及安装材料，运輸等費用。

表2-12　35～110千伏屋外配电装置間隔綜合經济指标

电压	遮断器或隔离开关	遮断器	遮断器	单母綫						双母綫					
		遮断容量	本体价格	綜合投資	主要材料消耗（木材：米³/間隔）（其它：吨/間隔）					綜合投資	主要材料消耗（木材：米³/間隔）（其它：吨/間隔）				
（千伏）	型式	（兆伏安）	（万元/台）	（万元/間隔）	鋼材	銅	鋁	水泥	木材	（万元/間隔）	鋼	銅	鋁	水泥	木材
35	Gw2-35D（隔离开关）			0.27											
	RWA（高压熔断器）		—	0.60											
	SW1-35/600A	400	0.85	1.96	1.93	1.85	0.05	1.85	0.98	2.15	3.23	0.2	0.13	3.01	1.31
	DW1-35/600A	400	0.53	1.50						1.63					
	DW1-35D/600A	400	0.562	1.54						1.70					
	DW2-35/600	750	0.908	2.19	3.57	0.35	0.04	1.85	0.98	2.39	4.90	0.36	0.12	3.01	1.31
	DW2-35/1000	1000	0.958	2.27						2.50					
60	DW1-60/600	500	2.61	4.67						5.05					
	DW1-60G/1200	1000	2.96	5.10	8.70	0.50	0.15	4.85	1.67	5.55	9.90	0.48	0.14	7.7	2.43
110	SW1-110/600	2500	3.20	6.80	8.15	0.45	0.05	10.5	1.58	7.31					
	DW2-110/600	2500	4.40	8.95						9.70					
	DW2-110/1000	2500	5.00	9.45						10.50					
	DW3-110/600	2500	4.35	8.35	16.40	0.74	0.12	10.0	1.50	9.10	17.60	0.75	0.26	13.26	2.22
	DW3-110G/600	3500	4.76	8.75						9.55					

注：此表所示指标系按各种結綫型式間隔取其平均值表示。遮断器本体价格不包括油費用。

表2-13　6～35千伏屋內配电装置間隔綜合投資

遮断器或隔离开关	遮断容量	遮断器	綜合投資（万元/間隔）				
		本体价格	6～10（千伏）			35（千伏）	
型式	（兆伏安）	（万元/台）	单层单列单母綫	单层单列双母綫	三层双列双母綫	双层单列单母綫	双层单列双母綫
GN2-10（隔离开关）		—	0.16	—	—	—	—
FN2-10（負荷开关）		—	0.23	—	—	—	—
ПК-10（熔断器）		—	0.17	—	—	—	—
FN2-10（負荷开关及熔断器）		—	0.24	—	—	—	—
SN1-10/600	200	0.107	0.47	0.54	1.66	—	—
SN2-10/600	350	0.113	0.48	0.55	1.69	—	—
SN2-10/1000	350	0.135	0.54	0.62	3.13	—	—
SN3-10/2000	500	0.417	0.97	1.05	5.73	—	—
SN3-10/3000	500	0.437	—	—	6.35	—	—
SN4-10/4000	1500	1.258	—	—	8.58	—	—
SW1-35/600	400	0.85	—	—	—	1.92	2.45
DW1-35/600	400	0.53	—	—	—	1.53	2.00
DW1-35D/600	400	0.562	—	—	—	1.57	2.00
DW2-35/600	750	0.908	—	—	—	2.02	2.53
DW2-35/1000	1000	0.958	—	—	—	2.32	2.87

注：此表所示指标系按各种結綫型式間隔取其平均值表示，三层双列 双母綫系包括带饋电綫电抗器的費用。

表2-14　6～10千伏屋內配电装置間隔主要材料消耗

遮断器型式	遮断容量(兆伏安)	主要材料消耗（木材：米³/間隔，其它：吨/間隔） 單层单列单母綫 鋼材	銅	鋁	水泥	木材	單层单列双母綫 鋼材	銅	鋁	水泥	木材	三层双列双母綫 鋼材	銅	鋁	水泥	木材
SN1-10/600	200	0.46	0.03	0.05	0.89	0.08	0.51	0.08	0.08	1.05	0.11	1.18	0.08	1.39	4.93	0.72
SN2-10/600	350	0.46	0.03	0.05	0.89	0.08	0.51	0.08	0.08	1.05	0.11	1.18	0.08	1.39	4.93	0.72
SN2-10/1000	350	0.53	0.05	0.05	0.89	0.08	0.61	0.11	0.08	1.05	0.11	1.32	0.11	2.09	5.00	0.72
SN3-10/2000	500	1.44	0.12	0.17	0.89	0.08	1.60	0.24	0.21	1.05	0.11	2.88	0.28	2.0	6.00	1.05
SN3-10/3000	500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.43	0.35	2.02	6.00	1.05
SN4-10/4000	1500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5.50	0.25	2.62	6.40	1.17

注：三层双列双母綫系包括饋綫电抗器。

表2-15　35千伏屋內配电装置間隔主要材料消耗

遮断器型式	遮断容量(兆伏安)	主要材料消耗（木材：米³/間隔，其它：吨/間隔） 双层单列单母綫 鋼材	銅	鋁	水泥	木材	双层单列双母綫 鋼材	銅	鋁	水泥	木材
DW2-35/600	750	3.65	0.25	0.10	4.22	0.7	3.82	0.26	0.12	4.22	0.7
DW2-35/1000	1000	3.90	0.3	0.10	4.22	0.7	4.01	0.28	0.13	4.22	0.7

表2-16　变电所固定部分綜合經济指标

电压(千伏)	变电站容量(千伏安)	綜合投資(万元)	主要材料消耗（木材：米³，其它：吨） 鋼材	銅	水泥	木材
35	2×750及以下	2.81				
	2×1000～2×3200	8.80	16.6	0.26	29.94	11.64
	2×5600～2×15000	13.00	22.32	0.46	49.43	14.10
60	2×1000～2×3200	9.93	16.6	0.26	29.94	11.64
	2×5600～2×7500	14.97	22.4	0.48	62.52	16.39
	2×10000～2×20000	19.46	38.19	0.66	86.72	31.09
110	2×10000及以下	29.72	46.66	1.15	121.96	44.73
	2×15000～2×31500	34.20	53.97	1.31	138.56	55.43

表2-17　变电所其它部分綜合經济指标

变电站电压等級	35千伏	60千伏	110千伏
其它部分費用占变电站本体費用的%	5～4	4～3	3～2

表2-18　变电所特殊部分綜合經济指标

电压(千伏)	設备型号或容量(千伏安或千乏)	綜合投資(万元)	主要材料消耗（木材：米³，其它：吨） 鋼材	銅鋁	水泥	木材
	1. 消弧綫圈					
6	XDJ-175/6	0.43				
	XDJ-350/6	0.70				
	XDJ-750/6	0.87				
	XDJ-1400/6	1.35				

續表

电压 (千伏)	設备型号或容量 (千伏安或千乏)	綜合投資 (万元)	主要材料消耗（木材：米^3，其它：吨）			
			鋼材	銅鋁	水泥	木材
10	XDJ-300/10	0.70				
	XDJ-600/10	0.86				
	XDJ-1200/10	1.61				
35	XDJ-275/35	0.79	0.82	0.09	1.7	0.2
	XDJ-550/35	1.26	1.23	0.14	2.0	0.23
	XDJ-1100/35	1.42	1.77	0.2	2.2	0.26
	XDJ-2200/35	2.06	2.77	0.3	2.6	0.28
60	XDJ-950/60	3.41	3.31	0.4	3.0	0.33
	XDJ-1900/60	4.28	4.24	0.5	3.5	0.4
	XDJ-3800/60	5.05	5.94	0.67	4.0	0.45
	2. 靜电电容器					
6	3000千乏	10.62	6.23	1.54	11.2	1.26
	7500千乏	26.21	15.06	3.83	28	3.15
	15000千乏	57.19	29.93	7.63	56	6.3
10	3000千乏	12.10	6.15	1.53	11.2	1.26
	7500千乏	29.91	15.08	3.8	28	3.15
	15000千乏	59.60	29.96	7.6	56	6.3
	3.同期調相机(元/千乏)					
10	2×KC-15000	81.30				
	2×KC-30000	71.00				
	2×KC-75000	61.70				

(4)发送变电工程折旧維护率

表2-19

項目	每年基本折旧率(%)	每年大修折旧率(%)	維护及小修率(%)	折旧維护率(%)
火力发电厂				
1500瓩以下	3.8	2	6.2	12
3000瓩	3.8	2	5.2	11
6000瓩	3.8	2	4.2	10
25000瓩以上	3.0	2	3.5	8.5
变电所				
2×3200千伏安以下	3.8	2	5.2	11
2×10000千伏安	3.8	2	3.2	9
电力綫路				
鉄塔輸电綫路	1.8	0.8	1.0	3.6
水泥杆輸电綫路	2.4	1.0	2.0	5.4
木杆輸电綫路	3.2	1.3	4.0	8.5
水泥杆配电綫路	3.2		3.0	6.2
木杆配电綫路	3.2		5.0	8.2
电纜綫路	2.4	1.0	2.5	5.9

注：1.每年基本折旧率和每年大修折旧率按国家規定。
2.維护及小修率参考苏联数据及我国情况估計得出。

2-4 发送变电工程綜合經济指标的編制方法

1.火力发电厂綜合經济指标的編制

(1)火力发电厂新建工程投資

火力发电厂新建工程綜合投資指标按設备、安装、建筑、其它等四部分組成，見表2-20。

表2-20 新建小型火力发电厂綜合投資

机炉型式	电厂容量(瓩)	总造价(万元)	設备 万元	設备 %	建筑 万元	建筑 %	安装 万元	安装 %	其它 万元	其它 %	单位瓩投資(元/瓩)
机2×ΓK-0.75	1500	150	97.5	65	25.5	17	15.0	10	12.0	8	1000
炉2×6.5吨/时		177	115.0		30.1		17.7		14.2		1180
机2×ΓK-1.5	3000	270	162.0	60	64.8	24	21.6	8	21.6	8	900
炉2×10吨/时		300	180.0		72.0		24.0		24.0		1000
机2×AK-3	6000	504	302.4	60	121.0	24	40.3	8	40.3	8	840
炉2×20吨/时		541	324.0		129.6		43.2		43.2		900
机2×AK-6	12000	876	508.0	58	228.0	26	70.0	8	70.0	8	730
炉2×35吨/时		960	557.0		250.0		76.5		76.5		800

注：各投資指标中列入两个数据，上面一个是推荐的一般标准，下面的数据为上限值。

1)設备費用 設备用在火力发电厂全部投資中占有很大的比重，根据一些統計和調查資料来看，2×750～2×6000瓩火电厂的設备費用約占电厂总投資的55～65%。

設备費用中包括：主設备(鍋炉、汽輪机、发电机)及其附属設备；电气設备（发电机引出綫、厂用电、主控制室、升压变电站、全厂电纜、全厂通訊）；輸煤設备；除灰設备；化学水处理設备；中心修配厂；全厂热工仪表；实驗室及其它等設备和設备的运杂費。

2)安装费用 安装费用包括全厂設备的安装直接費和安装間接費。安装直接費为安装的装置材料，工資，机械使用費等。安装間接費为安装施工单位的施工管理費等。

根据統計及調查資料 2×750～2×6000 瓩电厂的安装费用約占电厂总投資的8～10%。

3)建筑费用 建筑费用包括主厂房、基础、烟囱、主控制室、水工建筑、輸煤、除灰、升压变电站及配电室、輔助及附属建筑等。

根据統計及調查資料 2×750～2×6000 瓩电厂的建筑费用約占电厂总投資的15～26%。

4)其它費用 其它费用包括場地平整，迁移賠償，施工水源，临时建筑等。此項費用占 2×750～2×6000 瓩电厂总投資的8%左右。

表2-20所列数据系两机两炉情况，当电厂机炉台数有变化时，可以根据經驗統計的台数比减率加以修正，建議采用的台数比减率为 120:100:95:90 (对单位瓩投資而言)。即将两机两炉投資数作为100，同一类型的一机一炉电厂投資为120，三机三炉为95，四机四炉为90。例如 2 台1500瓩机和 2 台 10 吨/时炉的单位瓩投資为 1000 元，則 1 台 1500 瓩机和 1 台 10 吨/时炉的单位瓩投資为1200元。

对扩建的补充瓩投資，可按同类电厂新建投資的80%計算。

(2)火力发电厂工程主要材料消耗

表 2-21　火力发电厂工程主要材料消耗

机組容量	鋼材（公斤/瓩）		木材	水泥	有色金属
	建筑安装	設备	（米³/瓩）	（公斤/瓩）	（公斤/瓩）
ГК-750	78	120	0.2	231	4.15
ГК-1500	74.8	87	0.15	246	3.99
ГК-3000	81.9	72.5	0.16	221	3.65
АК-6000	89	58.9	0.177	195	3.30
АК-12000	77	68.6	0.13	160	2.96
АК-25000	70.6	57.2	0.1	130	2.21
АК-50000	58	46.4	0.07	120	1.16

注：1.扩建机組应按95%計算。
2.两台机組时应按一台机組的1.9倍計算，三台机組按2.85，四台按3.80。
3.有色金属消耗主要是发电机、凝汽器中的鋼材消耗，一般占85%左右。

（3）火力发电厂运行指标

1）火力发电厂年运行費用的計算　火力发电厂的年运行費用，应包括一年中所消耗的生产、管理、运行維护、固定資产的折旧以及其它等費用。

火力发电厂的年运行費可用下式表示：

$$F_{f.d}=x_{zh.j}Z_{f.d}+F_{r.l}, \tag{2-3}$$

式中 $F_{f.d}$——发电站的年运行費；
$Z_{f.d}$——发电站的綜合投資；
$x_{zh.j}$——火电站的折旧維护率（見表2-19）；
$F_{r.l}$——火电站的年燃料費。

〔$F_{r.l}=1.02\cdot L_d\cdot x_m\cdot J_m\cdot\mu$

式中 1.02——运輸損失系数；
L_d——年发电量（千度）；
x_m——年平均发电标准煤耗率（吨/千度）；
J_m——燃料平均到厂价格（元/吨）；
μ——天然煤折成标准煤的系数$\left(\frac{原煤发热量}{7000}\right)$。〕

2）750～6000瓩火电厂的运行經济指标

表 2-22　小型火力发电厂主要的运行經济指标

电厂容量（瓩）＼运行經济指标	折旧材料备件費（元/瓩）	工資管理及其它費用（元/瓩）	电厂工作人員数（人/千瓩）	煤耗率（公斤/度）	厂用电率（电力）（%）	厂用电率（电量）（%）	每单位瓩投資（元/瓩）	电厂年最大負荷利用小时数（小时）	发电成本（元/千度）
1×750	97.3	47.3	70	1.17	5	14～15	1200	1500～2000	143.9～119.8
1×1500	87.5	40.6	60	0.875	5	11～12	1080	2000～2500	99.0～86.1
1×3000	81.8	30.4	45	0.625	6	10～11	1010	2500～3000	69.3～61.7
1×6000	71.0	16.9	25	0.578	6	8～9	876	3000～3500	51.3～47.1

注：1.折旧率：設备折旧率 $p=5.8\%$；材料备件的折旧費占設备总折旧費的40%左右。
2.本表所列单位瓩投資系按新建小型火力发电厂投資表中下限数值乘以一机一炉的比減率而得的。
3.火电厂的平均人員工資取450元/人年；管理及其他費用占全厂总工資数的50%左右。
4.煤耗率主要是根据理論推算得出，并参考了相应的一些統計数字，但农村电厂目前輕負荷运行情况較多，所以該数据可能对輕負荷电厂来說偏低一些。
5.一般大型电厂厂用电率（电力或电量）相差不大，而小型电厂的厂用电率有时差別較大，在此列出的数据仅供参考。
6.目前小型电厂的年最大負荷利用小时数变化較大，在此仅列出一个大致范圍。发电成本是按此利用小时数計算得出，使用时可以根据本电厂的情况加以修正。
7.燃料到厂費用按每吨35元計算。

表 2-23　大中型电厂主要运行經济指标

項目	АК-12	АК-25	АК-50
标准煤耗率（公斤/度）	0.517	0.511	0.501
厂用电量率（%）	9	8	7
每千瓩人数（人/千瓩）	7	5	3

（4）火力发电厂綜合經济指标編制的依据和参考資料

1)投資指标主要根据下述資料編制的：

甲、电力建設总局1962年推荐数据；

乙、电力建設总局1962年山西、四川省小型电厂調查資料；

丙、水利电力部的旧統計資料。

2)主要材料消耗指标系根据下列資料編制：

甲、水利电力部1959年"电站建設用設备器材手冊"；

乙、西安电力設計院1960年編的系統設計手冊。

2. 电力綫路綜合經济指标的編制

（1）电力綫路新建工程投資

1)电力綫路工程綜合投資指标的組成及內容：

电力綫路費用＝导綫部分費用＋杆塔部分費用＋其它部分費用

导綫部分投資($Z_{d.x}$)包括：导綫、地綫及相应的架設安装費和运杂費。

杆塔部分投資($Z_{g.t}$)包括：塔材、瓷瓶金具及相应的組立安装費和运杂費。

其它部分投資($Z_{q.t}$)包括：杆塔基础、接地工程、工地运輸、現場清理、賠償、施工道路、杆塔瓷瓶試驗、事故备用材料、临时工程費、工程管理費、未預見費等。

2)电力綫路工程綜合投資指标的推算　根据电力綫路工程綜合投資指标的組成，綜合投資指标的計算可用下式表示：

$$Z_{x.l}=Z_{d.x}+Z_{g.t}+Z_{q.t}. \qquad (2\text{-}4)$$

上式中等号右面各項可以由下列式子求出：

$$Z_{d.x}=(1+x_{s.x})J_{d.x}+(1+x_{s.x})x_{z.f}\cdot J_{d.x}+F_{a.zh}$$
$$=(1+x_{s.x})(1+x_{z.f})J_{d.x}+F_{a.zh},$$

式中　$J_{d.x}$——导地綫每公里长度的出厂价格；

$x_{s.x}$——导地綫每公里长度架設的損耗率，根据1962年設备安装价目表規定为1.3%；

$x_{z.f}$——导地綫出厂至工地仓庫的运杂費率(見表2-28)；

$F_{a.zh}$——导地綫的安装費用（包括直接費和間接費，直接費由1962年設备安装价目表可查出，間接費为安装直接費中工資的1.5倍)。

$$Z_{g.t}=(a_1+b_1+c_1)B_1+(a_2+b_2+c_2)B_2$$
$$+(a_3+b_3+c_3)B_3+(a_1B_1+a_2B_2$$
$$+a_3B_3)B_4,$$

式中　a_1——每基直綫杆塔材料費(包括主杆横担等)；

a_2——每基耐張杆塔材料費(包括主杆横担等)；

a_3——每基轉角杆塔材料費(包括主杆横担等)；

b_1——每基直綫杆塔瓷瓶及金具費用；

b_2——每基耐張杆塔瓷瓶及金具費用；

b_3——每基轉角杆塔瓷瓶及金具費用；

c_1——每基直綫杆塔組立安装費；

表2-24　0.38～10千伏每公里綫路直綫杆基数(B_1)和耐張杆基数(B_2)

导綫种类	导綫牌号	0.38 千伏		6～10 千伏	
		B_1(基)	B_2(基)	B_1(基)	B_2(基)
鋁絞綫	L-16	17	3	17	3
	L-25	16.5	2.5	16.5	2.5
	L-35	14.5	2.5	14.5	2.5
	L-35及以上	12	2	12	2
鋼(鉄)絞綫	G-25	9.5	1.5	9.5	1.5
	G-35	9.5	1.5	9.5	1.5
	G-50	9.5	1.5	9.5	1.5
	G-70	8.7	1.3	8.7	1.3
	G-95	7.8	1.2	7.8	1.2
鋼(鉄)綫	G-Φ3.5至Φ6	14.5	2.5	14.5	2.5
銅絞綫	T-10至35	14.5	2.5	—	—
	T-50	12	2	—	—
	T-70及以上	11.2	1.8	—	—

注：0.38千伏三相三綫制与三相四綫制采取了同样的基数。

c_2——每基耐張杆塔組立安装費；

c_3——每基轉角杆塔組立安装費；

B_1——每公里直綫杆塔基数；

B_2——每公里耐張杆塔基数；

B_3——每公里轉角杆塔基数；

B_4——杆塔出厂(包括材料)运至工地仓庫的运杂費率（見表2-28)。

$$Z_{q.t}=(Z_{d.x}+Z_{g.i})x_{g.x},$$

式中 $x_{g.t}$——每公里綫路輔助及其他費用系数。

本章所介紹的电力綫路綜合投資指标的編制，即采取上述的方法进行計算的，其所使用的有关参数如表2-24：

表2-25 35～110千伏每公里綫路直綫杆基数(B_1)和耐張杆基数(B_2)、轉角杆基数(B_3)

鋼芯鋁綫牌号	木杆			水泥杆								
	35千伏			35千伏			60千伏			110千伏		
	B_1	B_2	B_3	B_1	B_2	B_3	B_1	B_2	B_3	B_1	B_2	B_3
LG-35	5.4	0.9	0.5	5.0	0.9	0.5	—	—	—	—	—	—
LG-50	5.3	0.9	0.5	4.8	0.9	0.5	4.5	0.7	0.4	—	—	—
LG-70	5.2	0.9	0.5	4.7	0.9	0.5	4.4	0.7	0.4	3.7	0.5	0.3
LG-95	5.1	0.9	0.5	4.6	0.9	0.5	4.3	0.7	0.4	3.5	0.5	0.3
LG-120	5.0	0.8	0.5	4.4	0.9	0.5	4.2	0.7	0.4	3.3	0.5	0.3
LG-150	4.9	0.8	0.5	4.3	0.9	0.5	4.1	0.7	0.4	3.2	0.5	0.3
LG-185	4.7	0.8	0.5	4.2	0.9	0.5	4.1	0.7	0.4	3.1	0.5	0.3

注：35千伏水泥杆鋼导綫每公里数除G-25截面分别为$B_1=5.2$、$B_2=0.9$、$B_3=0.5$，35千伏木杆鋼导綫G-25截面分别为$B_1=5.6$、$B_2=0.9$、$B_3=0.5$外，其余截面的基数与35千伏鋼芯鋁綫的相同。

表2-26 0.38～10千伏綫路每基杆塔及瓷瓶鉄件費用(元)

杆塔种类	0.38千伏				6千伏				10千伏			
	杆高	$a_1=a_2$	b_1	b_2	杆高	$a_1=a_2$	b_1	b_2	杆高	$a_1=a_2$	b_1	b_2
水泥杆	8米	75	10	30	10米	102	40	100	10米	102	50	120
木杆	8米	35	10	30	10米	58	40	100	10米	58	50	120

表2-27 35～110千伏綫路每基杆塔及瓷瓶金具費用(元)

鋼芯鋁綫編号	木杆				水泥杆														
	35千伏				35千伏					60千伏					110千伏				
	a_1+c_1	a_2+c_2	b_1	b_2	a_1+c_1	a_2+c_2	a_3+c_3	b_1	$b_2=b_3$	a_1+c_1	a_2+c_2	a_3+c_3	b_1	$b_2=b_3$	a_1+c_1	a_2+c_2	a_3+c_3	b_1	$b_2=b_3$
LG-35	350	500	149	298	400	750	750	170	340	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
LG-50	370	520	152	304	440	800	800	175	350	720	1000	1010	202	404	—	—	—	—	—
LG-70	380	530	160	320	460	820	820	184	368	740	1030	1040	212	424	1000	1500	1600	302	604
LG-95	400	550	165	330	470	840	840	190	380	780	1040	1060	223	446	1050	1600	1700	324	648
LG-120	420	560	167	334	500	900	900	195	390	840	1060	1120	227	454	1100	1700	1800	347	694
LG-150	440	580	180	360	530	980	980	205	410	900	1110	1150	238	476	1150	1800	1900	365	730
LG-185	460	600	183	366	540	1000	1000	207	414	940	1160	1300	246	492	1200	1900	2050	383	766

注：35千伏鋼导綫除G-25截面的木杆$a_1+c_1=330$元、$a_2+c_2=480$元、$b_1=144$元、$b_2=294$元，水泥杆$a_1+c_1=360$元、$a_2+c_2=700$元、$b_1=165$元、$b_2=b_3=330$元外，其余截面完全与鋼芯鋁綫相同。

表 2-28 导綫及杆塔的运杂費率(北京地区)

	型式	运杂費率(%)
导綫	裸銅綫	5.1
	裸鋁綫	5.2
	鋼芯鋁綫	6.5
	鋼(鉄)綫	4.6
杆塔	木杆	10.0
	水泥杆	6.6

表 2-29 0.38～110千伏每公里綫路輔助及其他費用系数

电压等級	$x_{g.t}$ (%)
0.38千伏	5
6 千伏	10
10 千伏	10
35 千伏	13
60 千伏	13
110 千伏	13

3)0.38～110千伏送配电綫路分項投資表

(2)电力綫路的年运行費計算

电力綫路年运行費用，应包括在一年中所消耗的电能損失、生产管理、运行維护、固定資产的折旧及其他等費用。

电力綫路年运行費用的計算可用下式表示：

$$F_{x.l}=x_{zh.j}\cdot Z_{x.l}+F_{d.n}. \qquad (2\text{-}5)$$

式中 $F_{x.l}$——电力綫路的年运行費；

$Z_{x.l}$——电力綫路的綜合投資；

$x_{zh.j}$——电力綫路的折旧維护率(見表2-19)；

$F_{d.n}$——电力綫路的年电能損失費。

〔$F_{d.n}=L_dB$,

L_d——电力綫路年損失电量(千度),

B——电能成本(元/千度).〕

表2-30 0.38～10千伏鋼导綫路(水泥杆)投資指标

(单位：万元/公里)

导綫牌号 \ 項目 种类 电压	0.38千伏 水泥杆 导綫費用	0.38千伏 水泥杆 杆塔費用	0.38千伏 水泥杆 其它費用	0.38千伏 水泥杆 綜合費用	6千伏 水泥杆 导綫費用	6千伏 水泥杆 杆塔費用	6千伏 水泥杆 其它費用	6千伏 水泥杆 綜合費用	10千伏 水泥杆 导綫費用	10千伏 水泥杆 杆塔費用	10千伏 水泥杆 其它費用	10千伏 水泥杆 綜合費用
G-25	0.0899	0.1415	0.0116	0.2330	0.0909	0.1901	0.0281	0.3091	0.0909	0.2020	0.0293	0.3222
G-35	0.1286	0.1415	0.0135	0.2836	0.1266	0.1901	0.0317	0.3484	0.1266	0.2020	0.0329	0.3615
G-50	0.1771	0.1415	0.0159	0.3345	0.1829	0.1901	0.0373	0.4103	0.1829	0.2020	0.0385	0.4233
G-70	0.2803	0.1283	0.0204	0.4290	0.2823	0.1720	0.0454	0.4997	0.2823	0.1834	0.0466	0.5123
G-95	0.3166	0.1283	0.0445	0.4894	0.3181	0.1720	0.0492	0.5410	0.3181	0.1834	0.0502	0.5517
G-φ3.5	0.0176	0.2180	0.0118	0.2474	0.0211	0.2943	0.0315	0.3469	0.0211	0.3139	0.0335	0.3685
G-φ4	0.0222	0.2180	0.0120	0.2522	0.0242	0.2943	0.0318	0.3503	0.0242	0.3139	0.0338	0.3719
G-φ5	0.0343	0.2180	0.0127	0.2656	0.0364	0.2943	0.0331	0.3638	0.0364	0.3139	0.0350	0.3853
G-φ6	0.0413	0.2180	0.0264	0.2863	0.0424	0.2943	0.0337	0.3704	0.0424	0.3139	0.0356	0.3919

表 2-31　0.38～10千伏鋼导綫綫路(木杆)投資指标

(单位：万元/公里)

电压 / 种类 / 项目 / 导綫牌号	0.38千伏				6千伏				10千伏			
	木杆				木杆				木杆			
	导綫費用	杆塔費用	其他費用	綜合費用	导綫費用	杆塔費用	其他費用	綜合費用	导綫費用	杆塔費用	其他費用	綜合費用
G-25	0.0899	0.0711	0.0081	0.1402	0.0909	0.1339	0.0225	0.2473	0.0909	0.1466	0.0238	0.2613
G-35	0.1286	0.0711	0.0099	0.2046	0.1266	0.1339	0.0261	0.2866	0.1266	0.1466	0.0273	0.3005
G-50	0.1771	0.0711	0.0128	0.2610	0.1829	0.1339	0.0317	0.3485	0.1829	0.1466	0.0329	0.3624
G-70	0.2803	0.0645	0.0175	0.2623	0.2823	0.1214	0.0404	0.4441	0.2823	0.1327	0.0415	0.4565
G-95	0.3166	0.0645	0.0191	0.4002	0.3181	0.1214	0.0439	0.4836	0.3181	0.1327	0.0451	0.4959
G-φ3.5	0.0176	0.1104	0.0064	0.1344	0.0211	0.2074	0.0229	0.2514	0.0211	0.2274	0.0248	0.2733
G-φ4	0.0222	0.1104	0.0066	0.1392	0.0242	0.2074	0.0232	0.2548	0.0242	0.2274	0.0252	0.2768
G-φ5	0.0343	0.1104	0.0072	0.1519	0.0364	0.2074	0.0244	0.2682	0.0364	0.2274	0.0264	0.2902
G-φ6	0.0413	0.1104	0.0076	0.1593	0.0424	0.2074	0.0439	0.2747	0.0424	0.2274	0.0269	0.2967

表2-32　0.38～10千伏鋁綫单基杆电力綫路(水泥杆)投資指标

(单位：万元/公里)

电压 / 种类 / 项目 / 导綫牌号	0.38千伏				6千伏				10千伏			
	水泥杆				水泥杆				水泥杆			
	导綫費用	杆塔費用	其他費用	綜合費用	导綫費用	杆塔費用	其他費用	綜合費用	导綫費用	杆塔費用	其他費用	綜合費用
L- 16	0.0817	0.2572	0.0169	0.3559	0.0828	0.3467	0.0429	0.4725	0.0828	0.3696	0.0452	0.4977
L- 25	0.1201	0.2474	0.0184	0.3870	0.1212	0.3270	0.0448	0.4930	0.1212	0.3479	0.0469	0.5182
L- 35	0.1296	0.2186	0.0194	0.4077	0.1703	0.2943	0.0465	0.5111	0.1704	0.3139	0.0484	0.5327
L- 50	0.2372	0.1801	0.0208	0.4382	0.2379	0.2419	0.0479	0.5278	0.2379	0.2579	0.0496	0.5454
L- 70	0.3341	0.1801	0.0258	0.5411	0.3345	0.2419	0.0576	0.6340	0.3345	0.2579	0.0592	0.6514
L- 95	0.4450	0.1801	0.0313	0.6564	0.4454	0.2419	0.0687	0.7560	0.4454	0.2579	0.0703	0.7736
L-120					0.5786	0.2419	0.0821	0.9025	0.5786	0.2579	0.0837	0.9201
L-150					0.7232	0.2419	0.0965	1.0616	0.7232	0.2579	0.0981	1.0792

表 2-33　0.38～10千伏鋁綫单基杆电力綫路(木杆)投資指标

(单位：万元/公里)

导綫牌号＼电压种类項目	0.38千伏 木杆				6千伏 木杆				10千伏 木杆			
	导綫費用	杆塔費用	其他費用	綜合費用	导綫費用	杆塔費用	其他費用	綜合費用	导綫費用	杆塔費用	其他費用	綜合費用
L-16	0.0817	0.1301	0.0106	0.2224	0.0828	0.2451	0.0328	0.3607	0.0828	0.2679	0.0351	0.3858
L-25	0.1201	0.1228	0.0122	0.2551	0.1212	0.2326	0.0354	0.3892	0.1212	0.2470	0.0370	0.4072
L-35	0.1696	0.1104	0.014	0.294	0.1704	0.2074	0.0378	0.4155	0.1704	0.2274	0.0398	0.4375
L-50	0.2372	0.0908	0.0164	0.3444	0.2379	0.1712	0.0409	0.4500	0.2379	0.1867	0.0425	0.4671
L-70	0.3341	0.0908	0.0212	0.4461	0.3345	0.1712	0.0506	0.5563	0.3345	0.1867	0.0521	0.5733
L-95	0.4450	0.0908	0.0268	0.5626	0.4454	0.1712	0.0617	0.6783	0.4454	0.1867	0.0632	0.6953
L-120					0.5786	0.1712	0.0749	0.8248	0.5786	0.1867	0.0765	0.8418
L-150					0.7232	0.1712	0.0894	0.9839	0.7232	0.1867	0.0909	1.0009

表 2-34　0.38千伏鋁导綫电力綫路(三相四綫制)投資指标

(单位：万元/公里)

导綫牌号	导綫費用	杆塔費用 木杆	杆塔費用 水泥杆	其他費用 木杆	其他費用 水泥杆	綜合費用 木杆	綜合費用 水泥杆
L(3×16+1×16)	0.1091	0.1301	0.2572	0.012	0.0183	0.2512	0.3846
L(3×25+1×16)	0.1475	0.1228	0.2474	0.0135	0.0198	0.2838	0.4147
L(3×35+1×16)	0.1969	0.1104	0.2186	0.0154	0.0208	0.3227	0.4363
L(3×50+1×25)	0.3093	0.0908	0.1801	0.020	0.0244	0.4201	0.5138
L(3×70+1×35)	0.3912	0.0908	0.1801	0.0241	0.0286	0.5061	0.5999
L(3×95+1×50)	0.5226	0.0908	0.1801	0.0306	0.0352	0.6440	0.7379

表 2-35　0.38千伏銅导綫綫路(三相四綫制)投資指标

(单位：万元/公里)

导綫牌号＼电压項目	0.38千伏						
	导綫費用	杆塔費用 木杆	杆塔費用 水泥杆	其他費用 木杆	其他費用 水泥杆	綜合費用 木杆	綜合費用 水泥杆
T-3×16+1×10	0.4086	0.1104	0.2187	0.0260	0.0314	0.545	0.6587
T-3×25+1×16	0.6356	0.1104	0.2187	0.0372	0.0427	0.7842	0.8970
T-3×35+1×16	0.8316	0.1104	0.2187	0.0471	0.0524	0.9890	1.1027
T-3×50+1×25	1.1746	0.0906	0.1799	0.0635	0.0675	1.3287	1.4218
T-3×70+1×35	1.6958	0.0842	0.1668	0.0890	0.0928	1.8690	1.9224
T-3×95+1×50	2.2789	0.0842	0.1668	0.1180	0.1225	2.4811	2.5682

表 2-36　0.38千伏銅导綫綫路(三相三綫制)投資指标

(单位：万元/公里)

导綫牌号＼电压項目	0.38千伏						
	导綫費用	杆塔費用 木杆	杆塔費用 水泥杆	其他費用 木杆	其他費用 水泥杆	綜合費用 木杆	綜合費用 水泥杆
T-16	0.3433	0.1104	0.2187	0.0226	0.0281	0.4763	0.5901
T-25	0.5203	0.1104	0.2187	0.0315	0.0370	0.6622	0.7760
T-35	0.7179	0.1104	0.2187	0.0414	0.0471	0.8687	0.9837
T-50	1.0027	0.0906	0.1799	0.0547	0.0593	1.1480	1.2419
T-70	1.4561	0.0842	0.1668	0.077	0.0811	1.6173	1.7040
T-95	1.9479	0.0842	0.1668	0.1016	0.1055	2.1337	2.2202

表2-37　35～110千伏鋼芯鋁綫单基杆綫路投資指标

(单位：万元/公里)

导綫牌号（电压种类／項目）	35千伏木杆 导綫費用	35千伏木杆 杆塔費用	35千伏木杆 其他費用	35千伏木杆 綜合費用	35千伏水泥杆 导綫費用	35千伏水泥杆 杆塔費用	35千伏水泥杆 其他費用	35千伏水泥杆 綜合費用	60千伏水泥杆 导綫費用	60千伏水泥杆 杆塔費用	60千伏水泥杆 其他費用	60千伏水泥杆 綜合費用	110千伏水泥杆 导綫費用	110千伏水泥杆 杆塔費用	110千伏水泥杆 其他費用	110千伏水泥杆 綜合費用
LG-35	0.2329	0.3643	0.0776	0.6742	0.2323	0.4580	0.0899	0.7802								
LG-50	0.3225	0.3755	0.0907	0.7887	0.3225	0.4773	0.1038	0.9036	0.3225	0.6012	0.1200	1.0437				
LG-70	0.4249	0.3821	0.1050	0.9120	0.4229	0.4909	0.1190	1.0328	0.4249	0.6076	0.1345	1.1650	0.4342	0.6868	0.1460	1.2670
LG-95	0.6147	0.3927	0.1310	1.1384	0.6147	0.4971	0.1445	1.2593	0.6147	0.6110	0.1592	1.3849	0.6259	0.6984	0.1725	1.4998
LG-120	0.7349	0.4004	0.1475	1.2828	0.7349	0.5093	0.1590	1.4032	0.7349	0.6502	0.1805	1.5656	0.7461	0.7020	0.1882	1.6363
LG-150	0.9091	0.4054	0.1710	1.4855	0.9091	0.5346	0.1876	1.6313	0.9091	0.6755	0.2060	1.7906	0.9224	0.7190	0.2130	1.8544
LG-185	1.1104	0.4088	0.1961	1.7152	1.1104	0.5415	0.2120	1.8639	1.1104	0.7086	0.2360	2.0660	1.1237	0.7474	0.2430	2.1141

表2-38　35千伏鋼导綫单基杆送电綫路投資指标

(单位：万元/公里)

导綫牌号	导綫費用	杆塔費用 木杆	杆塔費用 水泥杆	其他費用 木杆	其他費用 水泥杆	綜合費用 木杆	綜合費用 水泥杆
G-25	0.1363	0.3585	0.4420	0.0644	0.0753	0.5593	0.6536
G-35	0.1671	0.3643	0.4580	0.0692	0.0814	0.6006	0.7069
G-50	0.2156	0.3755	0.4773	0.0769	0.0891	0.6679	0.7820
G-70	0.3100	0.3821	0.4909	0.0900	0.1045	0.7821	0.9054
G-95	0.3636	0.3926	0.4974	0.0984	0.1120	0.8546	0.9727

(3)送配电綫路綜合經济指标編制的依据和规定条件

1)綫路通过地区大部分为平原地带，不通过居民区，无大跨越，气象条件为Ⅱ类。如非上述地区，35～110千伏送电綫路的投資应考虑表2-39中的修正系数。

表2-39

地区条件＼电压	35千伏	60千伏	110千伏
一般山区	1.2～1.25	1.2～1.25	1.15～1.25
特殊山区	1.25～1.35	1.25～1.35	1.25～1.35
泥沼地区	1.10～1.15	1.10～1.15	1.10～1.15
城市工业区	1.25～1.35	1.25～1.35	1.25～1.35

2)35～110千伏綫路的投資及材料消耗指标，系按单基杆数值編制的。如为双基杆綫路，投資可按表2-40中的数字增加(小截面用大的数值，大截面用小的数值)。

表2-40

电压等級	35千伏	60千伏	110千伏
增加(%)	10～30	10～25	8～18

3)导綫本体材料价格系按1962年一机部产品价格計算。

4)杆塔费用及每公里基数系参照过去的典型設計及具体工程实际平均杆塔数，加以估算而得。

5)导綫架設及杆塔組立安装費用，系按电力建設总局1962年出版的电气設备安装价目表計算。安装間接費計入在安装费中，为工資的1.5倍。

3.变电所綜合經济指标的編制

本节变电站綜合經济指标是按扩大单元編制的。

(1)变电所新建工程投資

1)变电所新建工程綜合投資指标的組成及內容：

变电所总費用＝主变压器＋配电装置間隔＋固定部分＋特殊部分＋其它部分.

主变压器部分包括：变压器及其安装，干燥試驗，油过滤設备，高低压側引綫及安装，控制与保护設备，装置材料及控制电纜，土建基础及支架。

配电装置間隔費用包括：遮断器本体和油开关，隔离开关，端子箱，控制及保护設备，安装材料及控制电纜，土建基础及架构等。

固定部分費用包括：主控制楼的一般土建、暖通、照明，室內上下水道，电纜敷設及公用的控制保护設备，直流設备，所用电設备，室外照明，避雷針及接地，室外电纜沟，室外上下水道，油庫，通訊，道路，圍墻，宿舍及附属建筑物。

特殊部分費用包括：

甲)消弧綫圈(包括設备、安装及土建)；

乙)静电电容器(包括电容器，电压互感器，隔离开关，熔断器等設备及安装土建等)；

丙)同期調相机(包括調相机的机、电、水的全部設备，安装和土建部分)。

其它部分費用包括：土地征购，拆迁，挖墳，生产用具购置

等，常以变电站本体費用(主变压器＋配电装置間隔＋固定部分＋特殊部分)的百分数表示。

2)变电站新建工程分項投資

表2-41 变压器及遮断器的新旧型号对照表

产品名称	原型号	新型号
变压器		
三相双卷油浸自冷式	TM	SJ
三相双卷油浸风冷式(防雷)	ТДГ	SFL
三相三卷油浸风冷式(防雷)	ТДТГ	SFSL
遮断器		
屋外高压多油遮断器	ВМ-35	DW1-35
	ВМД-35	DW1-35D
	МКП-35	DW2-35
	G-50	DW1-60
	G-100	DW1-60G
	МКП-160	DW2-110
	МКП-110	DW3-110
	МКП-110М	DW3-110G
屋外高压少油遮断器	МГ-35	SW1-35
	МГ-110	SW1-110
屋內高压少油遮断器	ВМГ-133Ⅰ	SN1-10
	ВМГ-133Ⅱ、Ⅲ	SN2-10
	МГГ-10	SN3-10
隔离开关		
屋外高压隔离开关	РЛН-35	GW2-35
	РЛНЗ-35	GW2-35D
屋內高压隔离开关	РЛВⅢ-10	GN2-10
負荷开关	ВНП-16	FN2-10

表2-42 主变压器綜合投資表

(单位：万元/台)

电压(千伏)	变压器型号	数量	单位	变压器本体价格	綜合投資
35/6～10	SJ-320	1	台	0.876	1.74
	SJ-560	1	»	1.168	2.30
	SJ-750	1	»	1.44	2.60
	SJ-1000	1	»	1.776	3.00
	SJ-1800	1	»	2.696	4.14
	SJ-3200	1	»	3.820	5.31
	SJ-5600	1	»	5.160	6.83
	SJ-7500	1	»	6.952	8.81
60/6～10	SJ-1000	1	台	2.480	4.00
	SJ-1800	1	»	3.548	5.30
	SJ-3200	1	»	5.060	7.10
	SJ-5600	1	»	6.340	8.64
	SJ-7500	1	»	8.360	10.90
	SJ-10000	1	»	10.560	13.26
110/6～10	SFL-5600	1	台	8.772	11.38
	SFL-7500	1	»	11.440	14.24
	SFL-10000	1	»	13.640	16.70
	SFL-15000	1	»	16.632	19.86
	SFL-20000	1	»	17.864	21.33
110/35/6~10	SFSL-5600	1	台	11.364	15.21
	SFSL-7500	1	»	14.960	18.92
	SFSL-10000	1	»	17.776	22.03
	SFSL-15000	1	»	21.824	26.50
	SFSL-20000	1	»	23.408	28.45

表2-

电压(千伏)	遮断器或隔离开关型号	单 无旁路母綫 变压器綫路組	双卷变压器进綫		三卷变压器进綫	饋电綫	
35	GW2-35D(隔离开关)					0.27	
	RWA(高压熔断器)	0.64	0.50				0.67
	SW1-35/600A, 400MBA			1.62	1.77		
	DW1-35/600A, 400			1.16	1.31		
	DW1-35D/600, 400			1.20	1.35		
	DW2-35/600, 750			1.85	2.01		
	DW2-35/1000, 1000			1.92	2.10		
60	DW1-60/600, 500			4.27	4.49		
	DW1-60G/1200, 1000			4.68	4.96		
110	SW1-110/600, 2500			6.03	6.34		
	DW2-110/600, 2500			8.22	8.52		
	DW2-110/1000, 2500			8.92	9.28		
	DW3-110/600, 2500			7.61	7.91		
	DW3-110G/600, 3500			8.04	8.34		

表2-43　35～110千伏屋外配电装置遮断器間隔綜合投資表

（単位：万元/間隔）

単母線												双母線							
无旁路母線							有旁路母線			桥型接線		无旁路母線				有旁路母線			
双卷变压器进線		三卷变压器进線	饋电線			母線分段	双(或三)卷变压器进線	饋电線	旁路	内桥（三个間隔总計）	外桥（三个間隔总計）	双卷变压器进線	三卷变压器进線	饋电線	母联	双(三)卷变压器进線	饋电線	母联	旁路
			0.27																
.50				0.67															
	1.62	1.77			2.27	2.16	2.03	2.38	2.05	5.79	5.14	1.88	2.05	2.43	2.25	2.33	2.63	2.72	2.38
	1.16	1.31			1.81	1.70	1.57	1.92	1.59	4.42	3.77	1.42	1.59	1.69	1.79	1.87	2.17	2.26	1.92
	1.20	1.35			1.85	1.74	1.60	1.95	1.63	4.53	3.88	1.46	1.63	1.90	1.83	1.91	2.21	2.30	1.96
	1.85	2.01			2.50	2.40	2.26	2.63	2.29	6.51	5.86	2.12	2.29	2.67	2.49	2.57	2.87	2.96	2.62
	1.92	2.10			2.60	2.49	2.40	2.73	2.36	6.84	6.15	2.21	2.40	2.79	2.58	2.70	3.01	3.09	2.71
	4.27	4.49			4.95	4.92	4.96	5.25	4.78	14.59	14.03	4.75	4.98	5.37	5.09	5.51	5.70	5.94	5.36
	4.68	4.96			5.43	5.40	5.48	5.78	5.20	16.13	15.45	5.22	5.50	5.90	5.56	6.09	6.29	6.51	5.83
	6.03	6.34			7.35	7.31	7.01	7.77	7.08	20.79	19.82	6.18	6.90	8.35	7.90	7.69	8.76	9.01	8.19
	8.22	8.52			9.54	9.50	9.19	9.96	9.27	27.41	26.43	8.85	9.16	10.61	10.19	9.95	11.05	11.29	10.48
	8.92	9.28			9.22	10.26	10.01	9.71	9.96	29.76	28.65	9.60	9.98	11.40	10.95	10.83	11.91	12.17	11.24
	7.61	7.91			8.93	8.89	8.58	9.35	8.66	25.58	24.6	8.24	8.55	10.00	9.58	9.34	10.44	10.67	9.87
	8.04	8.34			9.36	9.32	9.01	9.77	9.09	26.87	25.89	8.67	8.98	10.43	10.01	9.77	10.87	11.11	10.30

表2-44 6～35千伏屋内配电装置遮断器間隔綜合投資表

(单位：万元/間隔)

电压(千伏)	遮断器或隔离开关型号	单层单列单母綫 进綫	单层单列单母綫 电纜饋綫					单层单列双母綫 进綫	单层单列双母綫 电纜饋綫	三层双列双母綫 进綫	三层双列双母綫 电纜饋綫(其中电抗器型号)	三层双列双母綫 电纜饋綫(其中电抗器型
6～10	GN2-10(隔离开关)		0.16									
	FN2-10(負荷开关)			0.23								
	ПК-10(熔断器)				0.17							
	FN2-10(負荷开关配合熔断器)					0.24						
	SN1-10/600A 200MBA						0.47		0.54		1.66(NK-10-600-6)	
	SN2-10/600 350						0.48		0.55		1.69(NK-10-600-6)	
	SN2-10/1000 350						0.54		0.62		3.13(NK-10-600-6)	
	SN3-10/2000 500	0.97						1.05		1.44		5.73(NK-10-1000-10
	SN3-10/3000 500									1.58		6.35(NK-10-1500-10
	SN4-10/4000 1500									3.29		8.58(NK-10-2000-10

电压(千伏)	遮断器型号	单母綫 进綫	单母綫 母綫分段	单母綫 饋綫		双母綫 进綫	双母綫 母綫联絡	双母綫 架空饋綫	双母綫 电纜饋綫	
35	SW1-35/600A 400MBA	1.38	2.16	2.21		2.16	2.47	2.72		
	DW1-35/600A 400	1.15	1.70	1.75		1.70	2.01	2.26		
	DW1-35D/600A 400	1.18	1.73	1.79		1.73	2.05	2.19		
	DW2-35/600 750	1.82	1.93	2.33		2.23	2.60	2.76	2.59	
	DW2-35/1000 1000	1.99	2.34	2.62		2.58	2.89	3.13		

綫	三层双列双母綫 电纜饋綫(其中电抗器型号)	电纜饋綫(其中电抗器型号)
	1.66(NK-10-600-6) 1.69(NK-10-600-6) 3.13(NK-10-600-6)	5.73(NK-10-1000-10) 6.35(NK-10-1500-10) 8.58(NK-10-2000-10)

表 2-45　电压互感器及避雷器間隔綜合投資表

(单位：万元/間隔)

电压(千伏)	电压互感器，避雷器間隔形式	綜合投資
屋內配电装置		
10	单层单列单母綫間隔	0.28
	单层单列双母綫間隔	0.30
	三层双列双母綫間隔	0.52
35	双层单列单母綫間隔	0.85
	双层单列双母綫間隔	1.18
屋外配电装置		
35	电压互感器及避雷器間隔	0.88
60	电压互感器及避雷器間隔	2.11
110	电压互感器及避雷器間隔	3.32

表 2-46　变电所固定部分綜合投資表

(单位：万元)

电压(千伏)	变电站容量范圍(千伏安)	綜合投資
35	2×750及以下	2.81
	2×1000～2×3200	8.80
	2×5600～2×15000	13.00
60	2×1000～2×3200	9.93
	2×5600～2×7500	14.97
	2×10000～2×20000	19.46
110	2×10000及以下	29.72
	2×15000～2×31500	34.20

表 2-47 变电所特殊部分綜合投資表

(单位：万元)

甲、消弧綫圈

电压（千伏）	消弧綫圈型号	綜合投資
6	XDJ-175/6	0.43
	XDJ-350/6	0.70
	XDJ-700/6	0.87
	XDJ-1400/6	1.35
10	XDJ-300/10	0.70
	XDJ-600/10	0.86
	XDJ-1200/10	1.61
35	XDJ-275/35	0.79
	XDJ-550/35	1.26
	XDJ-1100/35	1.42
	XDJ-2200/35	2.06
60	XDJ-950/60	3.41
	XDJ-1900/60	4.28
	XDJ-3800/60	5.05

乙、6～10千伏电容器

电压（千伏）	电容器装設容量(千乏)	綜合投資
6	3000	10.62
	7500	26.21
	15000	52.19
10	3000	12.10
	7500	29.91
	15000	59.60

丙、同期調相机每千乏綜合投資表

同期調相机型号及容量(千乏)	单位綜合投資(元/千乏)
2×KC-15000	81.3
2×KC-30000	71.0
2×KC-75000	61.7

表 2-48 6～10千伏柱上变压器綜合投資表

变压器型号	数量	单位	变压器本体价格(元)		綜合投資(万元)	
			6千伏	10千伏	屋外配电站	柱上变压器
SJ-5/6～10	1	台	840	882		0 13
SJ-10/6～10	1	„	1040	1092		0.16
SJ-15/6～10	1	„		1260		0.18
SJ-20/6～10	1	„	1200	1260		0.18
SJ-25/6～10	1	„		1470		0.22
SJ-30/6～10	1	„	1560	1638		0.24
SJ-40/6～10	1	„		1858		0.27
SJ-50/6～10	1	„	1920	2016	0.25	0.29
SJ-75/6～10	1	„	2520	2650	0.33	0.37
SJ-100/6～10	1	„	2800	2940	0.41	0.40
SJ-150/6～10	1	„		3767	0.51	0.51
SJ-180/6～10	1	„	4000	4200	0.57	0.57
SJ-200/6～10	1	„		4419	0.60	0.59
SJ-240/6～10	1	„	4865	5150	0.71	0.68
SJ-300/6～10	1	„		5596	0.76	0.73
SJ-320/6～10	1	„	5840	6132	0.81	0.80
SJ-560/6～10	1	„	7000	9000	1.24	
SJ-750/6～10	1	„		11560	1.50	
SJ-1000/6～10	1	„		14800	1.88	

注：1.由于6千伏与10千伏变压器本体价格相差甚小，因此在綜合投資中不計其差别。

2.上述指标中包括了变压器設备、变压器杆塔、瓷瓶鉄件、跌落式保險器、防雷保护間隙以及安装材料运輸等費用。

（2）变电所新建工程主要材料消耗

1）变电所新建工程主要材料消耗的組成与包括內容和前节相同。

2）变电所新建工程分項主要材料消耗表

表2-49 主变压器主要材料消耗表

电压（千伏）	变压器型号	数量	单位	主要材料消耗（木材：米^3，其它：吨）					
				鋼材	硅鋼片	銅	鋁	水泥	木材
35/6～10	SJ-320	1	台						
	SJ-560	1	台						
	SJ-750	1	台						
	SJ-1000	1	台						
	SJ-1800	1	台	2.95	2.51	0.66	0.04	2.12	0.35
	SJ-3200	1	台	5.27	3.67	0.94	0.09	2.29	0.38
	SJ-5600	1	台	9.20	5.46	1.00	0.17	2.29	0.38
	SJ-7500	1	台	9.73	6.53	1.63	0.18	2.49	0.40
60/6～10	SJ-1000	1	台						
	SJ-18000	1	台	5.83	3.26	0.68	0.04	4.20	0.91
	SJ-3200	1	台						
	SJ-5600	1	台						
	SJ-7500	1	台						
	SJ-10000	1	台						
110/6～10	SFL-5600	1	台						
	SFL-7500	1	台						
	SFL-10000	1	台	15.57	10.53	2.30	0.16	5.91	1.03
	SFL-15000	1	台	18.56	13.87	2.78	0.16	6.37	1.07
	SFL-20000	1	台	21.48	18.06	3.57	0.31	6.37	1.07
1110/35/6～10	SFSL-5600	1	台						
	SFSL-7500	1	台	18.75	12.00	2.94	0.27	9.91	1.89
	SFSL-10000	1	台	18.29	12.80	4.00	0.26	9.91	1.89
	SFSL-15000	1	台	23.59	21.31	4.15	0.46	10.19	1.98
	SFSL-20000	1	台	32.27	23.00	7.18	0.64	10.19	1.98

电压（千伏）	遮断器型号	单母綫（无										
		双卷变压器进綫					三卷变压器进綫					
		鋼材	銅	鋁	水泥	木材	鋼材	銅	鋁	水泥	木材	鋼材
35	SW1-35/600A 400MBA	1.67	0.13	0.05	1.75	0.96	1.91	0.20	0.05	2.01	1.02	1.93
35	DW2-35/600 750	3.37	0.28	0.04	1.75	0.96	3.61	0.35	0.04	2.01	1.02	3.63
60	DW1-60G/1200 1000	8.22	0.47	0.06	4.01	1.47	8.60	0.50	0.06	4.67	1.62	8.78
110	SW1-110/600 2500	7.20	0.36	0.05	8.37	1.35	7.76	0.42	0.05	10.1	1.45	8.08
110	DW3-110/600 2500	15.47	0.66	0.12	8.31	1.28	16.04	0.71	0.12	9.74	1.38	16.35

电压（千伏）	遮断器型号	双母綫（无										
		双卷变压器进綫					三卷变压器进綫					
		鋼材	銅	鋁	水泥	木材	鋼材	銅	鋁	水泥	木材	鋼材
35	SW1-35/600A 400MBA	3.1	0.18	0.13	2.88	1.28	3.32	0.19	0.13	3.14	1.34	3.33
35	DW2-35/600 750	4.8	0.34	0.12	2.88	1.28	5.02	0.35	0.12	3.14	1.34	5.03
60	DW1-60G/1200 1000	9.62	0.49	0.14	7.39	2.35	10.0	0.52	0.14	8.05	2.5	10.18
110	SW1-110/600 2500	9.15	0.42	0.18	12.78	2.21	9.72	0.41	0.18	14.21	2.31	10.43
110	DW3-110/600 2500	17.14	0.66	0.26	12.54	2.17	17.71	0.71	0.26	13.97	2.27	18.02

2-50 35～110 千伏屋外配电装置遮断器間隔主要材料消耗表

(单位：木材：米^3，其它：吨)

旁路母綫)									单母綫（有旁路母綫）															桥型接綫									
电綫				母綫分段					双(三)卷变压器进綫					饋电綫					旁路					内桥(三个間隔)					外桥(三个間隔)				
	鋁	水泥	木材	鋼材	銅	鋁	水泥	木材	鋼材	銅	鋁	水泥	木材	鋼材	銅	鋁	水泥	木材	鋼材	銅	鋁	水泥	木材	鋼材	銅	鋁	水泥	木材	鋼材	銅	鋁	水泥	木材
9	0.05	1.97	1.01	1.95	0.22	0.05	1.69	0.92	2.48	0.15	0.14	3.17	1.37	2.27	0.20	0.09	2.55	0.6	1.63	0.15	0.08	1.45	0.86	6.56	0.55	0.23	8.33	3.76	6.11	0.50	0.29	7.81	3.64
4	0.04	1.97	1.01	3.65	0.37	0.04	1.69	0.92	4.18	0.31	0.13	3.17	1.37	3.98	0.35	0.08	2.55	0.6	3.33	0.30	0.07	1.45	0.86	11.67	1.00	0.21	8.33	3.76	10.22	0.95	0.27	7.81	3.64
4	0.25	4.67	1.62	9.20	0.50	0.22	6.06	1.96	10.00	0.52	0.16	8.05	2.5	9.45	0.56	0.11	6.0	1.97	8.3	0.54	0.10	3.35	1.32	28.86	12.8	0.28	22.24	6.94	27.74	12.21	0.34	20.22	6.46
1	0.05	10.1	1.45	9.57	0.51	0.02	13.10	2.06	10.45	0.48	0.18	15.69	2.45	8.54	0.57	0.11	12.36	1.77	6.74	0.46	0.09	7.00	1.10	28.28	1.64	0.24	42.02	6.35	26.85	1.35	0.31	38.62	6.00
1	0.13	9.74	1.38	17.85	0.81	0.10	12.83	1.96	18.73	0.77	0.26	15.33	2.38	17.4	0.87	0.18	12.0	1.70	15.02	0.75	0.17	6.64	1.03	53.44	1.90	0.22	41.74	6.28	51.95	2.23	0.54	38.17	5.90

表2-51 35～110千伏屋外配电装置遮断器間隔主要材料消耗表

(单位：木材：米^3，其它：吨)

旁路母綫)									双母綫（有旁路母綫）																			
电綫				母联					双(三)卷变压器进綫					饋电綫					母联					旁路				
	鋁	水泥	木材	鋼材	銅	鋁	水泥	木材	鋼材	銅	鋁	水泥	木材	鋼材	銅	鋁	水泥	木材	鋼材	銅	鋁	水泥	木材	鋼材	銅	鋁	水泥	木材
24	0.13	3.14	1.34	3.14	0.2	0.13	2.88	1.28	3.77	0.2	0.27	4.34	1.70	3.57	0.25	0.2	3.72	1.50	3.92	0.22	0.29	4.34	1.7	3.32	0.2	0.18	3.72	1.5
39	0.12	3.14	1.34	4.84	0.35	0.12	2.88	1.28	5.48	0.36	0.26	4.34	1.70	5.27	0.40	0.19	3.72	1.50	5.63	0.37	0.29	4.34	1.7	5.02	0.35	0.17	3.72	1.5
56	0.15	8.05	2.5	9.78	0.49	0.13	7.39	2.35	11.41	0.57	0.32	11.43	3.37	10.86	0.59	0.22	9.38	2.84	11.57	0.59	0.35	11.43	3.37	10.08	0.54	0.2	8.06	2.54
57	0.19	14.21	2.31	9.17	0.51	0.16	12.78	2.21	12.29	0.59	0.46	19.54	4.22	11.08	0.63	0.30	16.45	3.60	12.75	0.63	0.5	19.90	4.31	10.28	0.51	0.27	14.31	2.62
31	0.27	13.97	2.27	17.84	0.81	0.24	12.54	2.17	19.97	0.77	0.54	19.26	3.14	19.12	0.87	0.54	16.17	2.52	26.07	0.92	0.57	19.5	3.2	18.81	0.81	0.34	15.34	2.57

(2)变电所新建工程主要材料消耗

表2-52　6～10千伏屋内配电装置遮断器間隔主要材料消耗表

(单位：木材，米³；其它，吨)

电压(千伏)	遮断器型号	单层单列单母綫										单层单列双母綫									
		进綫					电纜饋綫					进綫					电纜饋綫				
		鋼材	銅	鋁	水泥	木材	鋼材	銅	鋁	水泥	木材	鋼材	銅	鋁	水泥	木材	鋼材	銅	鋁	水泥	木材
6～10	SN1-10/600A 200MBA						0.46	0.03	0.05	0.89	0.08						0.51	0.08	0.08	1.05	0.11
	SN2-10/600 350						0.46	0.03	0.05	0.89	0.08						0.51	0.08	0.08	1.05	0.11
	SN2-10/1000 350						0.53	0.05	0.05	0.89	0.08						0.61	0.11	0.08	1.05	0.11
	SN3-10/2000 500	1.44	0.12	0.17	0.89	0.08						1.6	0.24	0.21	1.05	0.11					

表2-53　35千伏屋内配电装置遮断器間隔主要材料消耗表

(单位：木材，米³；其它，吨)

电压(千伏)	遮断器型号	单母綫														
		进綫					母綫分段					饋綫				
		鋼材	銅	鋁	水泥	木材	鋼材	銅	鋁	水泥	木材	鋼材	銅	鋁	水泥	木材
35	DW2-35/600A，750MBA	3.55	0.25	0.08	4.22	0.7	3.64	0.25	0.12	4.22	0.7	3.79	0.26	0.08	4.22	0.7
35	DW2-35/1000，1000	3.72	0.25	0.08	4.22	0.7	4.01	0.26	0.12	4.22	0.7	3.94	0.29	0.08	4.22	0.7

表2-54　6～10千伏屋內配电装置遮断器間隔主要材料消耗表

（单位：木材，米³；其它，吨）

电压（千伏）	遮断器型号	三层双列双母綫														
		进綫					电纜饋綫(带电抗器)					母綫分段电抗器				
		鋼材	銅	鋁	水泥	木材	鋼材	銅	鋁	水泥	木材	鋼材	銅	鋁	水泥	木材
6～10	SN1-10/600A　200MBA						1.18	0.08	1.39	4.93	0.72					
	SN2-10/600　350						1.18	0.08	1.39	4.93	0.72					
	SN2-10/1000　350						1.32	0.11	2.09	5.00	0.72					
	SN3-10/2000　500	2.4	0.26	0.32	3.10	0.72						3.35	0.31	3.39	8.84	1.44
	SN3-10/3000　500	3.09	0.37	0.33	3.10	0.72						3.77	0.32	3.74	8.75	1.44
	SN4-10/4000　1500	4.89	0.24	0.29	3.73	0.92						5.69	0.26	5.29	8.90	1.44

表2-55　35千伏屋內配电装置遮断器間隔主要材料消耗表

（单位：木材，米³；其他，吨）

电压（千伏）	遮断器型号	双母綫														
		进綫					母綫联絡					架空饋电綫				
		鋼材	銅	鋁	水泥	木材	鋼材	銅	鋁	水泥	木材	鋼材	銅	鋁	水泥	木材
35	DW2-35/600A　750MBA	3.65	0.25	0.08	4.22	0.7	3.85	0.25	0.13	4.22	0.7	3.93	0.26	0.14	4.22	0.7
35	DW2-35/1000　1000	3.87	0.26	0.13	4.22	0.7	4.02	0.26	0.13	4.22	0.7	4.13	0.30	0.14	4.22	0.7

表2-56　电压互感器及避雷器間隔主要材料消耗表

电压（千伏）	电压互感器、避雷器間隔形式	主要材料消耗（木材：米³，其他：吨）				
		鋼材	銅	鋁	水泥	木材
屋內配电装置						
10	单层单列单母綫間隔	0.34	0.02	0.02	1.05	0.11
	单层单列双母綫間隔	0.34	0.02	0.04	1.05	0.11
	三层双列双母綫間隔	1.28	0.02	0.14	1.05	0.72
35	双层单列单母綫間隔	0.91	0.08	0.04	2.23	0.46
	双层单列双母綫間隔	0.97	0.08	0.10	4.22	0.69
屋外配电装置						
35	电压互感器及避雷器間隔	1.42	0.16	0.02	0.83	0.18
60	电压互感器及避雷器間隔	3.05	0.30	0.02	1.50	0.32
110	电压互感器及避雷器間隔	3.80	0.36	0.03	2.27	0.27

表2-57　变电所固定部分主要材料消耗表

（单位：木材，米³；其它，吨）

电压级（千伏）	变电站容量范圍（千伏安）	固定部分主要材料消耗			
		鋼材	銅	水泥	木材
35	2×750及以下				
	2×1000～2×3200	16.6	0.26	29.94	11.64
	2×5600～2×15000	22.32	0.46	49.43	14.10
60	2×1000～2×3200	16.6	0.26	29.94	11.64
	2×5600～2×7500	22.4	0.48	62.52	16.39
	2×10000～2×20000	38.19	0.66	86.72	31.09
110	2×10000及以下	46.66	1.15	121.96	44.73
	2×15000～2×20000	53.97	1.31	138.56	55.43

表2-58 变电所特殊部分主要材料消耗表

（单位：木材，米^3；其他，吨）

甲、消弧綫圈

电压（千伏）	消弧綫圈型号	主要材料消耗 鋼材	銅	鋁	水泥	木材
6	XDJ-175/6					
	XDJ-350/6					
	XDJ-700/6					
	XDJ-1400/6					
10	XDJ-300/10					
	XDJ-600/10					
	XDJ-1200/10					
35	XDJ-275/35	0.82	0.09		1.7	0.2
	XDJ-550/35	1.23	0.14		2.0	0.23
	XDJ-1100/35	1.77	0.2		2.2	0.26
	XDJ-2200/35	2.77	0.3		2.6	0.28
60	XDJ-950/60	3.31	0.4		3.0	0.33
	XDJ-1900/60	4.24	0.5		3.5	0.4
	XDJ-3800/60	5.94	0.67		4.0	0.45

乙、6～10千伏电容器

电压（千伏）	电容器装設容量（千乏）	主要材料消耗 鋼材	銅	鋁	水泥	木材
6	3000	6.23		1.54	11.2	1.26
	7500	15.06		3.83	28	3.15
	15000	29.93		7.63	56	6.3
10	3000	6.15		1.53	11.2	1.26
	7500	15.08		3.8	28	3.15
	15000	29.96		7.6	56	6.3

（3）变电所的年运行費計算

变电所的年运行費用，应包括一年中所消耗的电能損失，生产管理，运行維护，固定資产的折旧及其它等費用。

变电所的年运行費用的計算可用下式表示：

$$F_{b.d}=x_{zh.}\cdot Z_{b.d}+F_{d.n},\qquad (2\text{-}6)$$

式中 $F_{b.d}$——变电所的年运行費；

$Z_{b.d}$——变电所的綜合投資；

$x_{zh.j}$——变电所的折旧維护率（見表2-19）；

$F_{d.n}$——变电所的年电能損耗費。

（4）变电所綜合經济指标編制的依据

1）設备价格系按1962年一机部产品价格計算的，并考虑5％的运杂費。

2）安装定額系按电力建設总局1962年出版的电气設备安装价目表計算。安装間接費已計入在安装費中，为工資的1.5倍。

3）材料价格是按1962年北京地区材料預算价格及电力建設总局出版的“变电工程建設預算綜合指标”的标准計算的。

4）土建費，一般建筑取費标准范圍为14～20元/立方米，屋外架构按“变电工程建設預算綜合指标”中費用标准計算，土建間接費以上述資料的21.6％計算。

5）材料消耗指标主要依据，为由一机部搜集来的資料及計算得出。

第三章 农村电力負荷的計算

3-1 概　述

农村电力負荷是編制农村供电規划的基础，它对电力网的連結方式、設备参数的选擇具有很大的影响。例如，某一变电所供2000亩土地的灌溉用电，如果在当地的具体情况下，每瓩負荷能灌溉85亩，但在預測負荷时，誤估为60亩，則該变电所的計算負荷就从23.5瓩变成33.4瓩，这样就需要选擇50千伏安的变压器来代替能满足实际需要的30千伏安变压器，不仅浪費了投資，也增加了供电成本。当然，在編制供电規划中，个别的負荷有所出入，一般影响不大，可以在具体工程的建設中予以修正。但是大多数的負荷估算得不正确时，就不只是影响恰当地选擇变压器容量，而是对整个地区电力网的結构、电压和导綫截面的选擇，甚至对电源的布局都会产生很大的影响，其結果不是造成資金、設备的浪費或积压，就是阻碍电力网的进一步发展；因此有必要准确地估計負荷水平。当然，負荷是年年变化的，預計和实际之間总有一些出入，对負荷的第三位甚至第四位数字，也去細致分析是完全沒有必要的。通常需要准确估算的是当地在一定时間内的負荷水平。負荷水平准确了，即使預計負荷的到达时間与实际到达时間相差一年半載，也不会影响农村电力网的建設及其发展。

3-2 編制电力負荷規划的基本条件

在編制电力負荷之前，需要解决三个問題。1)在規划地区內究竟有哪些电力用戶，什么时候开始用电；2)用戶的用电定額是多少；3)以規划期間的哪一年的負荷作为計算根据。这三个問題特别是前二个問題解决得不好，就会使計算出来的电力負荷不能

反映实际情况，使供电規划缺少可靠的依据。

农村供电一般是在农田水利規划的基础上进行規划的，有了农田水利規划就可以部分地解决第一个問題。但是全面的解决这个問題，还必須到有关計划部門了解本地区工农业的发展情况。此外，供电規划对人民公社的經济发展有着很大的作用，因此，了解他們的要求和看法，并适当的满足其中合理的又可能办到的部分也是必要的。

第二个問題虽然可以参考典型定額（例如本章中所列典型定額)加以解决，但是由于：1)全国各地自然条件及耕作方法相差悬殊；2)目前农村电气化水平不高；3)对于典型定額的調査研究工作做得不够，这些典型定額的作用是有限的。因此在規划过程中，对本地区或自然条件、耕作方式与本区类似的邻近地区內已經电气化的地方进行調査分析，选取适当的定額是非常必要的。如果沒有适当的資料，也可采用典型定額作些估算。

至于供电規划的年限，不宜太长；太长了，变化的因素就增多，負荷的預測不容易准确；太短了，对設备的选擇和使用也存在困难。一般以5年左右比較合适。

3-3 农村电力負荷的特点

由于农业生产和工业生产的条件不同，农村电力負荷和工业負荷的特点也有显著的差别。在編制农村供电規划的时候，需要认真研究这些特点，才能編制出适合农村需要的供电方案，避免机械地抄襲工业中采用的各种标准，一般說来农村电力負荷具有下列特点：

1.季 节 性

与工业負荷不同，农村負荷极大部分集中在夏、秋二季，由于受到气候的影响，高峰負荷出現的时候也是經常变化的。特别是排澇負荷，完全决定于暴风雨来临的时刻，它的季节性最强。

农村負荷的季节性对电源容量的选擇，电力网的运行方式带来很大的影响，在规划中需要认眞考虑。

2.地 区 性

我国地区广大，各地气象条件、地理情况和耕作方式都有显著差别，即使在同一地区，也因自然条件不同，对电力負荷有很大的影响。在計算負荷、研究供电方式时必須注意这些特点。

3.負 荷 密 度 低

目前农村电气化水平不高，用电設备也不可能象工业那样集中，而是分散在大片农田上或乡鎮中，因此农村負荷密度較低，一般只有 10～30 瓩/公里²，但是工业負荷密度常常达到几千瓩/公里²。負荷密度低，送变电的投資相对地要增加，因此仔細地研究农村电力网的电压和結綫方式，降低电力网的造价是有重要意义的。

4.利 用 小 时 少

一般农村綜合負荷利用小时約为 1500～2000 小时(对电动机而言，往往只有几百小时)，而工业綜合負荷利用小时約为4000～6000小时。因此，农村电气設备的利用率較低，这对設备的选擇有很大的影响，在作經济比較时必須注意到这个特点。

5.供电可靠性的要求与工业不同 (这里主要是指排灌負荷)

一方面排灌負荷不象工业中一級負荷那样不能片刻停电，从这一点上說，灌溉負荷对供电可靠性的要求是較低的；另一方面，由于农业生产的时間性很强，因此不允許长期停电。例如排澇站，如果在暴风雨后3～5天內不把水排尽，庄稼就会淹死。对于灌溉站，如果誤了农时，就会引起严重减产，不象工业那样只有停电那几天受到损失。从这一点上讲，排灌負荷对供电的要求是高的，因此在电源的建設上，考虑电网建設标准及运行时都需要顾及这些問題。

6.功 率 因 数 低

农村用电設备主要是容量較小的感应电动机，加以配套不尽合理，安装地点又极分散，通常沒有装設无功补偿設备，功率因数一般低至0.6～0.7，个别情况比这个数字更低，这对电网的电压水平和功率損失影响頗大。

以上特点，在作农村供电规划时是需要加以注意的。

3-4 农村用戶有功电力負荷的計算

1.排灌負荷的計算

計算排灌負荷通常采用下列二种方法：

(1)已知排灌站的流量和揚程，利用下列公式求它的負荷：

$$P = 9.81\frac{QH}{\eta}\text{瓩}, \qquad (3\text{-}1)$$

式中 Q——流量(米³/秒，即方/秒)；

H——总揚程(包括損失揚程)，(米)；

η——水泵、电动机及傳动装置的总效率，对于单級水泵，其值約为 0.5～0.75。

例： 10″丰产24型水泵，当总揚程为7.8米时其流量为700吨/时，其負荷求法如下：

1)先将700吨/时，化成米³/秒。因为 1 吨水約等于 1 米³，1 小时等于3600秒，故700吨/时$=\frac{700}{3600}$米³/秒；

2)水泵效率約0.70，电动机效率約0.89，总效率以0.6計算；

3)代入計算公式求得負荷为

$$P = 9.81\frac{\frac{700}{3600}\times 7.8}{0.6} = 24.8\text{瓩}.$$

表 3-1 排灌站电力負荷計算表

（单位：瓩）

利用公式 $P=\frac{9.81QH}{\eta}$ 求有功負荷，

式中：Q——流量(0.001米³/秒或升/秒)； H——总揚程(米)； η——总效率

流量(升/秒) \ 总揚程(米)	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
10	0.1962	0.2354	0.2747	0.3139	0.3532	0.3924	0.4905	0.5886	0.6866	0.7848
12		0.2825	0.3296	0.3767	0.4238	0.4709	0.5886	0.7063	0.8240	0.9418
14			0.3846	0.4395	0.4944	0.5494	0.6867	0.8240	0.9614	1.0987
16				0.5023	0.5657	0.6278	0.7848	0.9418	1.0987	1.2557
18					0.6357	0.7063	0.8829	1.0595	1.2361	1.4126
20						0.7848	0.9810	1.1772	1.3734	1.5696
25							1.2263	1.4715	1.7168	1.9620
30								1.7658	2.0601	2.3544
35									2.4031	2.7464
40										3.1392
45										
50										
55										
60										
65										
70										
75										
80										
85										
90										

流量(升/秒) \ 总揚程(米)	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5
10	0.8829	0.9810	1.0791	1.1772	1.2753	1.3734	1.4715	1.5696	1.6677	1.7658	1.8639
12	1.0595	1.1772	1.2949	1.4126	1.5304	1.6481	1.7658	1.8835	2.0012	2.1190	2.2367
14	1.2361	1.3734	1.5107	1.6481	1.7854	1.9228	2.0601	2.1974	2.3348	2.4721	2.6095
16	1.4126	1.5696	1.7726	1.8835	2.0405	2.1974	2.3544	2.5114	2.6683	2.8253	2.9822
18	1.5892	1.7658	1.9424	2.1190	2.2955	2.4721	2.6488	2.8253	3.0019	3.1784	3.3550
20	1.7658	1.9620	2.1582	2.3544	2.5506	2.7468	2.9430	3.1392	3.3354	3.5316	3.7278
25	2.2073	2.4525	2.6978	2.9340	3.1883	3.4335	3.6788	3.9240	4.1693	4.4145	4.6598
30	2.6487	2.9430	3.2373	3.5316	3.8259	4.1202	4.4145	4.7088	5.0031	5.2974	5.5917
35	3.0898	3.4331	3.7764	4.1197	4.4630	4.8063	5.1496	5.4929	5.8362	6.1795	6.5228
40	3.5317	3.9241	4.3165	4.7089	5.1013	5.4937	5.8861	6.2785	6.6709	7.0633	7.4557
45	3.9731	4.4145	4.8560	5.2974	5.7389	6.1803	6.6218	7.0632	7.5047	7.9461	8.3876
50		4.9050	5.3955	5.8860	6.3765	6.8670	7.3575	7.8440	8.3385	8.8290	9.3195
55			5.9351	6.4746	7.0142	7.5537	8.0933	8.6328	9.1724	9.7119	10.252
60				7.0632	7.6518	8.2404	8.8290	9.4176	10.006	10.595	11.183
65					8.2895	8.9271	9.5648	10.202	10.840	11.478	12.115
70						9.6208	10.308	10.995	10.682	12.370	13.057
75							11.036	11.772	12.508	13.244	13.979
80								12.557	13.342	14.126	14.911
85									14.176	15.009	15.843
90										15.892	16.775
											17.707

注：1.若揚程为 1.6 米，流量为20升/秒的有功負荷，表中所对无数值时，则可查揚程 2 米，流量为16升/秒所对之数值0.6278瓩卽可。其它类推。

2.如果揚程比表中所列数值大 10 倍，则查得結果也乘10倍，对流量也作同样处理。如果和揚程都大10倍，则在查得的結果上乘100倍。

3.上述結果是在 $\eta=0.5$ 的情况下求得的，如果 η 不等于 0.5时，则乘上下列修正系数K值卽可。

η	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8
K	1.25	1.11	1.0	0.909	0.833	0.769	0.714	0.667	0.625

用这种方法計算出来的負荷比較准确，但需要具体知道排灌站設备的情况。在規划阶段，要詳細掌握这些資料是有困难的；不过，如果某一地区的自然情況相差不多的話，只要計算出一、二个排灌站(应有代表性)的負荷和他的排灌面积，利用下面(2)中所述方法，就可推算这一地区的負荷了。

关于水泵特性、流量、揚程等計算資料，可参閱排灌机械配套手冊(农业部农田水利局編，农业出版社出版)。

为了方便起見，我們制成了表3-1，在已知流量和揚程的情况下，可以利用它很方便的得到負荷数字。

例：求流量为0.05米^3/秒，总揚程为8米，总效率为0.6时，求所需电力負荷。

先查表3-1中总揚程为8米的那一行和流量为0.05米^3/秒(即50升/秒)的那一列中交叉点的数字得7.848瓩，当$\eta=0.6$时其修正系数为0.833，故所需电力負荷为7.848×0.833=6.54瓩。

(2)利用每瓩負荷排灌面积(称用电定額，此处以亩/瓩表示)求負荷，即：

$$P=\frac{M}{D_{p.\kappa}}\text{瓩}, \quad (3\text{-}2)$$

式中　M——需要排灌面积(亩)；

$D_{p.\kappa}$——每瓩負荷排灌面积，(亩/瓩)。

每瓩負荷排灌亩数是从統計数字和典型情况計算得来，是一个平均数字，因此用来求某一个排灌站的負荷时，准确性要差些，但用来求一个較大地区的負荷时，非常方便，也比較准确。

采用本办法来求負荷时，必須注意选取的典型定額和該地区的实际情况相似，否則会引起錯誤。引起典型定額变化的因素很多，但是对灌溉負荷来說最重要的是总揚程的大小，对排澇負荷来說，主要是暴雨量和在多长时間內排干积水。一般說来，当揚程为6～7米时，每瓩負荷能灌溉70～100亩。至于排澇站，每瓩負荷約能排50～70亩。

2.农村其他电力負荷的計算

一般有二种計算方法：

(1)利用需用系数求負荷

$$P=\sum_{i=1}^{n}P_i x_x\text{瓩}, \quad (3\text{-}3)$$

式中　$\sum_{i=1}^{n}P_i$——用戶n台电动机額定容量的总和，(瓩)；

x_x——需用系数。

目前还缺乏农村用戶需用系数的統計資料，据苏联出版的"工业企业电工手冊"的資料，对农副业加工設备，其需用系数在0.28～0.34之間变化，平均为0.31；农村机械修配工业则为0.18～0.27，平均为0.21；农村化学工业为0.17～0.38，平均为0.26；农村生活照明需用系数約在0.75～0.8之間变化，平均为0.8。

(2)利用单位产品耗电定額求負荷

$$P=\frac{C\cdot D}{T}\text{瓩}, \quad (3\text{-}4)$$

式中　C——年产品总額；

D——电量单耗，以单位产品所耗电度表示；

T——年最大負荷利用小时。

或

$$P=L\times d\ \text{瓩}.$$

式中　L——耗电对象数量；

d——电力单耗，以单位耗电对象所需負荷的瓩数表示。

耗电定額变化幅度很大，目前在这方面的研究統計工作做得很少，因此缺乏完整的准确的資料。表3-2和表3-3列出了从上海郊区等地方收集来的有关农村用电資料。

表 3-2 某些农村电力用戶設备容量資料

用电負荷的名称	設备容量
奶牛場	200瓩/1000头
养猪場(1000头左右)	10瓩/1000头
养猪場(3000头以上)	20瓩/1000头
电影院	2瓩/1个
广播站	0.5瓩/1个
照明	5~10瓦/人
磨粉	4.5瓩/生产大队
路灯	0.5~1瓩/公里
一般农机修配厂	100~200瓩/个
年产1000吨氮肥厂	300瓩/个
电犂(60-2型)	7瓩/台(牽引速度1.3米/秒，耕寬24厘米)
电犂(60-3型)	10瓩/台(牽引速度2米/秒，耕寬24厘米)

表 3-3 某些农村电力用戶电量单耗統計表

用电負荷名称	电量单耗	用电負荷名称	电量单耗
电犂	3度/亩	块根切断	2.4度/吨
稻麦脫粒	10度/吨	造紙	200度/吨
谷物揚淨	1度/吨	砖瓦	8度/千块
家禽孵化	0.67度/只	石灰	16度/吨
碾米	40度/吨	紡紗	250度/件
磨面	30度/吨	織布	100度/千米
榨油	130~400度/吨(前者为花生油，后者为豆油)	麻袋	0.4度/条
		棉花軋花	20度/吨
制糖	15度/吨	棉花彈花	50度/吨
酿酒	10度/吨	制茶	200度/吨
干草切割	8度/吨	鋸木	15度/立方米
豆餅粉碎	8度/吨	石棉加工	350度/吨

3-5 农村电力系統和电力网有功电力負荷的計算

在編制农村供电規划的时候，知道了农村用戶負荷以后，尙須求取各变电所及整个系統的負荷，作为确定发送变电容量的根据，这里首先介紹几个概念。

1.同时系数

不論是求取变电所的負荷，还是整个系統的負荷，它們的計算方法是一样的，不过采用的系数和計算項目略有出入。因此首先介紹一下同时系数这一概念。极大部分电力用戶的負荷是随时間变化的。例如排灌站的負荷随着开机停机和揚程的变化而变化，这样就可能出現在同一时間这个用戶的負荷处已到最大值，而另一个用戶尙未到达它本身最大負荷的时刻，甚至他的部分或全部設备尙未投入运行。因此这两个用戶的綜合最大負荷可能要比它們各自最大負荷之和小一些。用戶愈多，这种差别就大一些。在計算中通常用同时系数来表达这种差别。同时系数不仅在計算用电性质不同的用戶时采用（例如照明負荷与白天的生产負荷之間，排灌負荷与脫粒負荷之間），而且在計算相同性质的用戶負荷时也会出現同时系数。例如在晚上，并不是每一家都把电灯开亮的，有一小部电灯并沒有使用。对于排灌站也是一样，并不是所有排灌站天天都开足馬力，而且揚程的变化，也不都是一样的。在几个用戶之間存在着这种情况，在几个变电站之間、几个电力网之間也都存在着高峰負荷不在同时出現的情况。因此同时系数被广泛采用在电力网負荷的計算中。由于还缺乏完整的农村电力网的运行資料，目前还沒有統計出各种情况下同时率的准确数值。根据一些极不完整的資料的初步分析，在农村供电規划中可以采用下列同时系数。

（1）农村专供排涝用或灌溉用的3～10千伏变电所，由于供电范圍較小，在計算它的綜合負荷时，可以不考虑同时系数。

但是在該变电所的負荷中，生活照明和工业用电占有較大比重，則它的綜合負荷的計算应按各用戶最大負荷錯开情况考慮同时系数。它的数值約为0.85～0.95。

（2）农村电力网中35～60千伏的变电所中6～10千伏变电所之間的同时系数，可以采取以下数值：

排澇負荷之間，同时率取0.85～0.95；

灌溉負荷之間，同时率取0.75～0.85。

（3）如果一个变电所中同时存在排澇負荷和灌溉負荷，应按排灌負荷錯开情况来計算二者的綜合負荷。

2.网損率和厂用电率

計算电力网的負荷时，除了知道同时系数外，还需知道电力网的有功功率損失和厂用电，后者是用来計算农村电力系統的发电負荷的。

电力网有功功率損失包括綫路上的电力損失和变压器損失两个部分，通常用电力負荷的百分数来表示的称为网損率。它有两种表示方法：一种是用受端的功率作計算基准（即作分母），它不包括有功功率損失；另一种是用送端的功率作計算基准，即包括有功功率損失。在本手冊中采用前一种表示方法。

厂用电用該厂供电負荷作基准的百分数来表示时，称为厂用电率。在本手冊中，不采用以发电負荷作基准的表示方法。

网損率和厂用电率的概略数值如表3-4和表3-5所示。

表3-4 各級农村电力网网損率
（以各級电网本身最大負荷作基准的百分数表示）

名称	网損率
380伏綫路	4～6
农村 6～10千伏綫路及变压器	6～11
农村35～60千伏綫路及变压器	10～15
110千伏綫路及变压器	5～10

表3-5 一般发电厂厂用电率（以百分数表示）

名称	厂用电率
凝汽式电厂	8～10
水电站	0.1～1
小型凝汽式电厂	5～6

表中所列数字是指电力損失而言，至于电量損失在一般的电力系統中与电力損失相差不多，但在农村系統中，由于負荷利用小时少，加以管理不善，它比电力損失約大30～100%。

3.供电負荷和发电負荷的計算

已知用戶負荷和选定了各种系数以后，就可以計算供电負荷和发电負荷了。供电負荷是指一个变电站或某一电力网的綜合最大負荷，它考慮了有功功率損失和負荷錯开情况。其計算公式如下：

$$P_{g.d}=\sum_{i=1}^{n}P_i\cdot x_x\cdot(1+x_{w.s})\text{瓩}, \quad (3\text{-}5)$$

式中 $P_{g.d}$——供电負荷；

$\sum_{i=1}^{n}$——n个用戶（或变电站）各自最大負荷的算术和，（瓩）；

x_x——同时系数；

$x_{w.s}$——网損率。

发电負荷是指由发电机发出的功率，它等于供电負荷加厂用电。其計算公式如下：

$$P_{f.d}=P_{g.d}(1+x_{ch.y})\text{瓩}, \quad (3\text{-}6)$$

式中 $P_{f.d}$——发电負荷；

$x_{ch.y}$——厂用电率。

在供电規划中，是用表格来計算供电負荷和发电負荷，通常用的表格形式如表3-6所示。

表 3-6　××变电所(电厂或电力系統)

供电負荷或发电負荷計算表

名　　称	19××年	19××年	19××年	19××年	19××年	备　注
1.××用戶(或变电所)						
2.××用戶(或变电所)						
....						
合　　計						
同 时 系 数						
网　損　率						
最 大 供 电 負 荷						
①厂 用 电 率						
①最大发 电 負 荷						

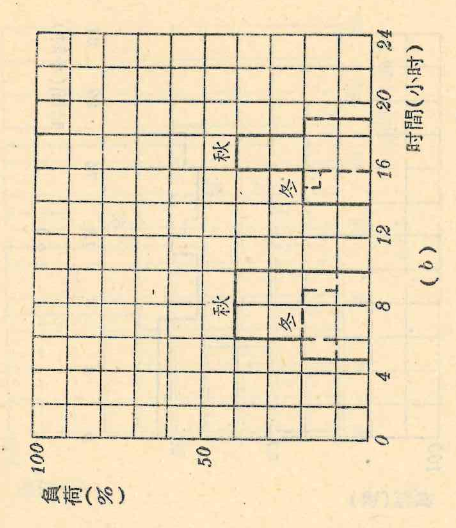
①需要求发电負荷时才写在表內。

如果需要預計某一地区农业用电量时，可以用供电負荷（或发电負荷)乘以年利用小时即得每年供电量（或发电量）。对于一个地区而言，农村用电綜合最大負荷年最大利用小时数約在1500～2000小时左右。

3-6　农村电力負荷曲綫

1.农村电力負荷曲綫

在規划設計中采用的电力負荷曲綫通常有二种：日負荷曲綫和年負荷曲綫。前者表示一天內每小时負荷变化的情况，后者表示一年內每月最高負荷的变化情况，这种变化在数量上每天每年都是不同的。但是經过仔細分析，可以看出用戶負荷的变化常常具有一定的規律。例如照明負荷，总是到傍晚的时候达到它的最大値，在早晨也有一个不大的高峰，其他时間的負荷都很低。典型負荷曲綫就是反映用戶負荷用电情况变化規律的曲綫。图 3-1至图3-15画出了某城市郊区某些电力用戶的日負荷曲綫及年負荷曲綫作为参考，图3-16是地区农村綜合年負荷曲綫图。



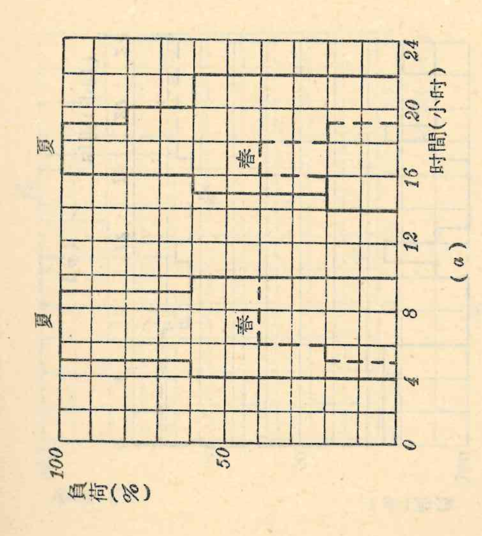


图 3-1　人工降雨日負荷曲綫

(a)春、夏季日負荷曲綫；(b)秋、冬季日負荷曲綫。

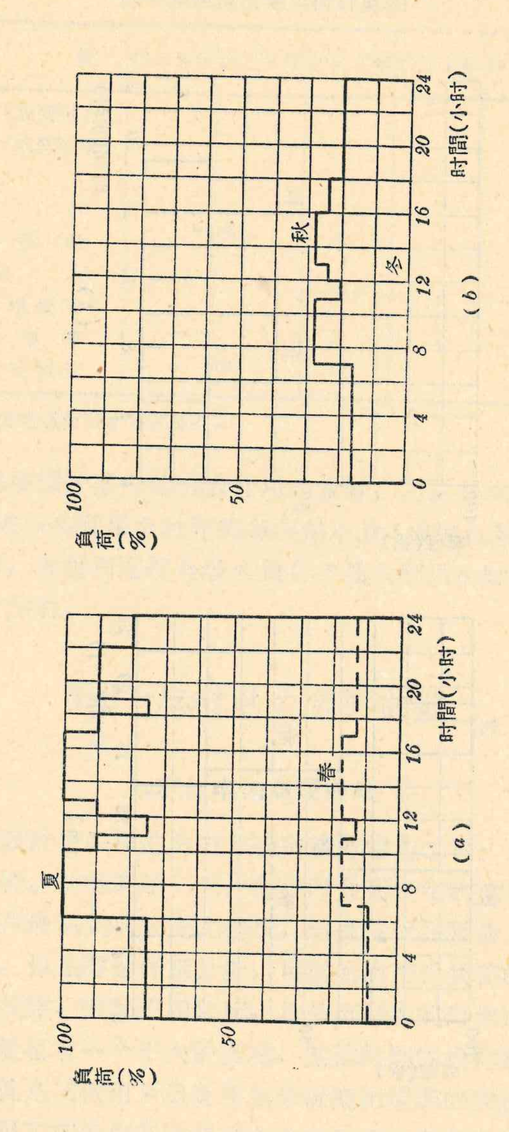


图 3-2 灌溉日負荷曲綫

(a)春、夏季日負荷曲綫；(b)秋、冬季日負荷曲綫。

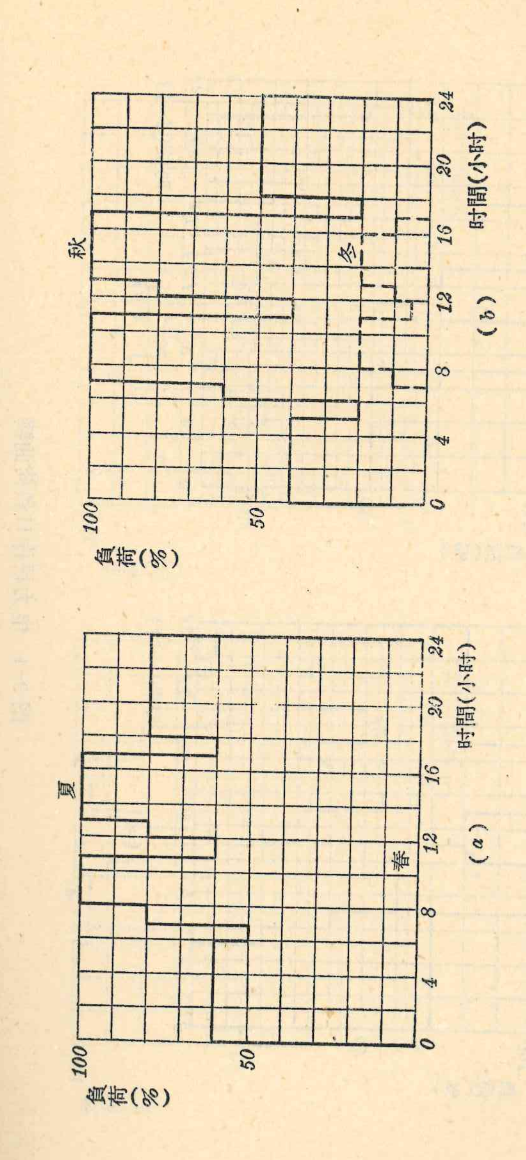


图 3-3 脫粒場淨日負荷曲綫

(a)春、夏季日負荷曲綫；(b)秋、冬季日負荷曲綫。

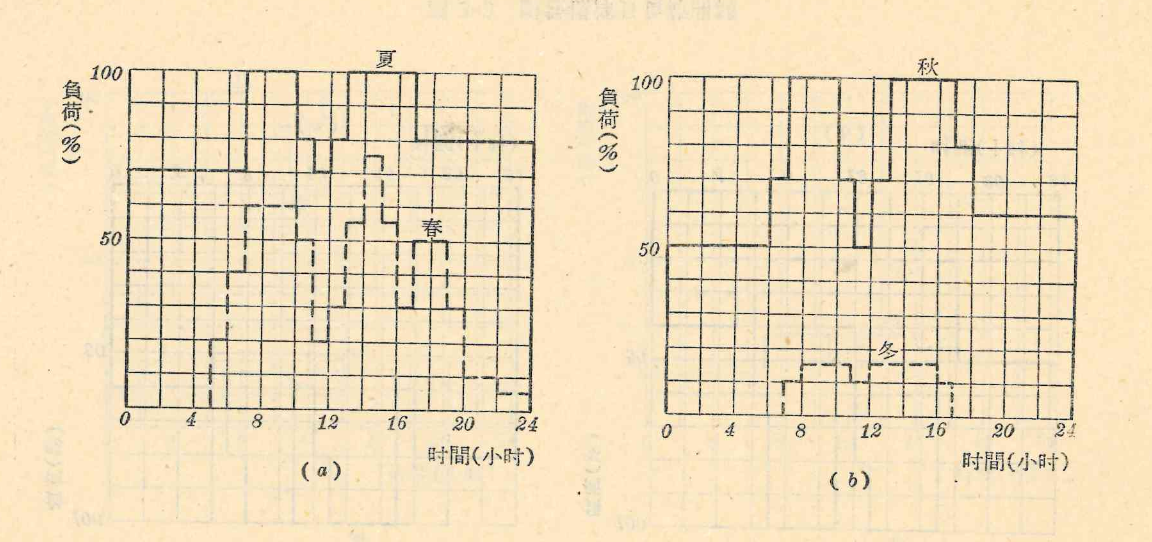


图 3-4 电力耕作日負荷曲綫

(a)春、夏季日負荷曲綫；(b)秋、冬季日負荷曲綫。

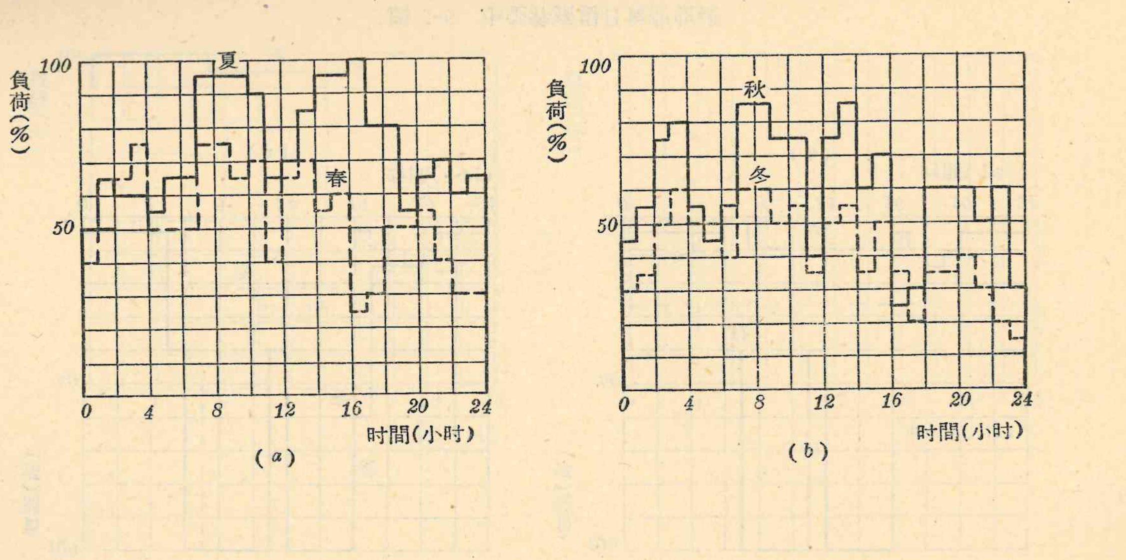


图 3-5 奶牛場日負荷曲綫

(a)春、夏季日負荷曲綫；(b)秋、冬季日負荷曲綫。

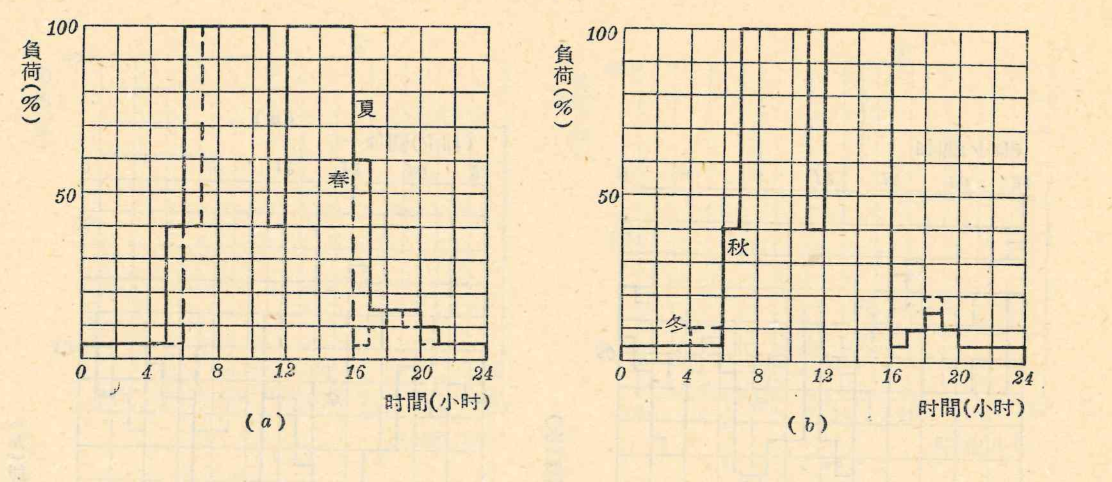


图 3-6 小型养猪場日負荷曲綫

(a)春、夏季日負荷曲綫；(b)秋、冬季日負荷曲綫。

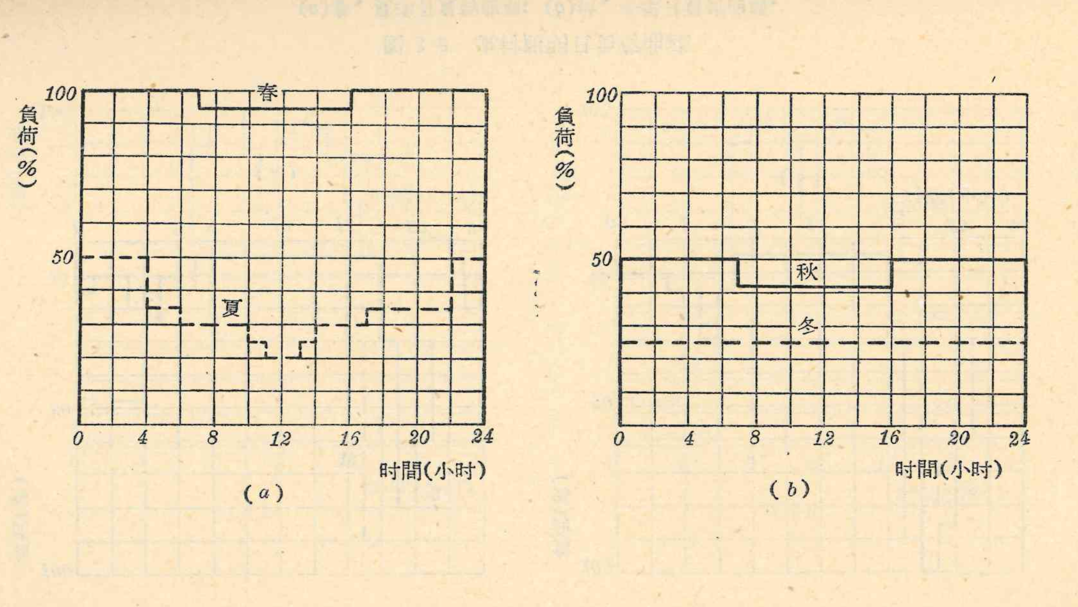


图 3-7 家禽場日負荷曲綫

(a)春、夏季日負荷曲綫；(b)秋、冬季日負荷曲綫。

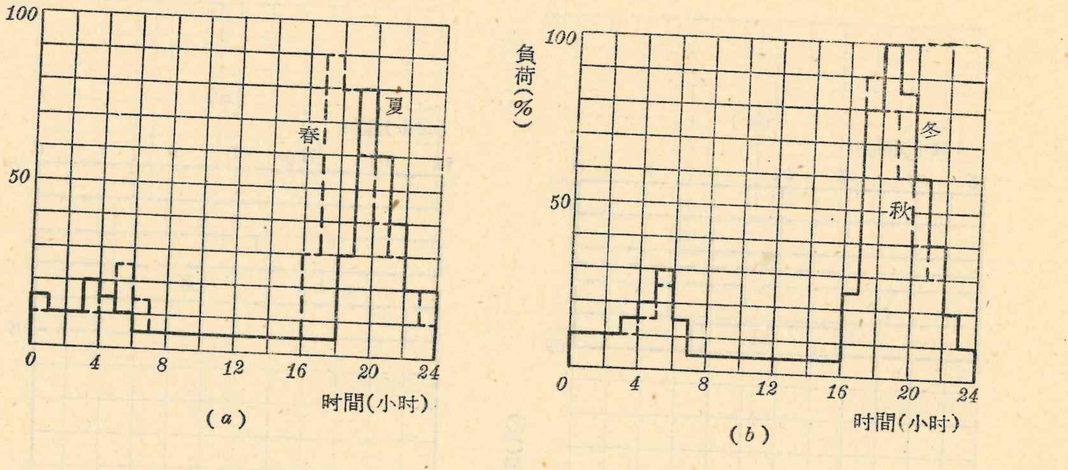


图 3-8 农村照明日負荷曲綫

(a)春、夏季日負荷曲綫；(b)秋、冬季日負荷曲綫。

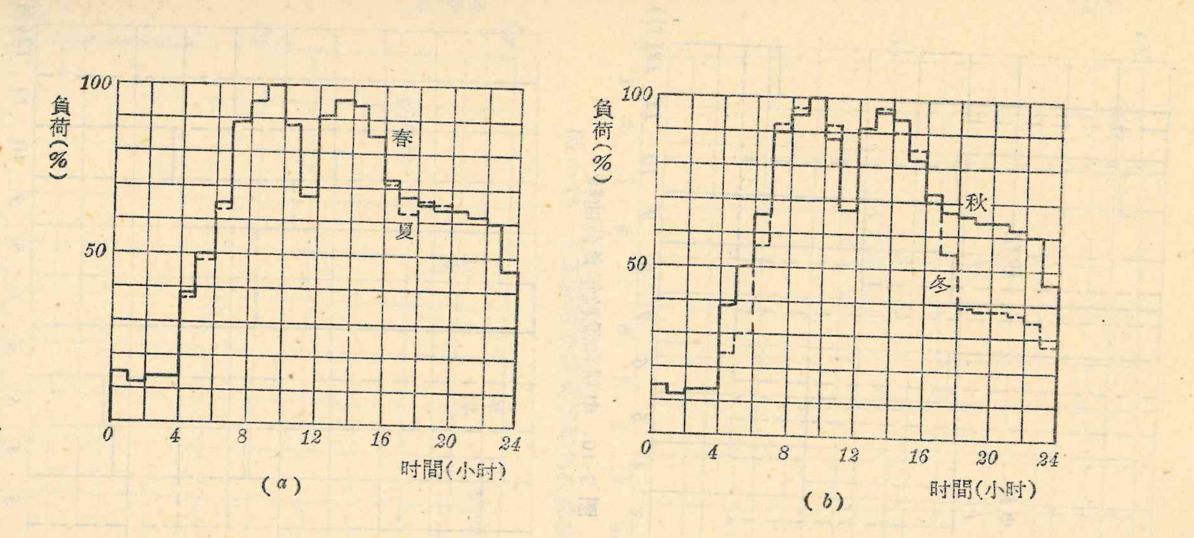


图 3-9 农村工业日負荷曲綫

(a)春、夏季日負荷曲綫；(b)秋、冬季日負荷曲綫。

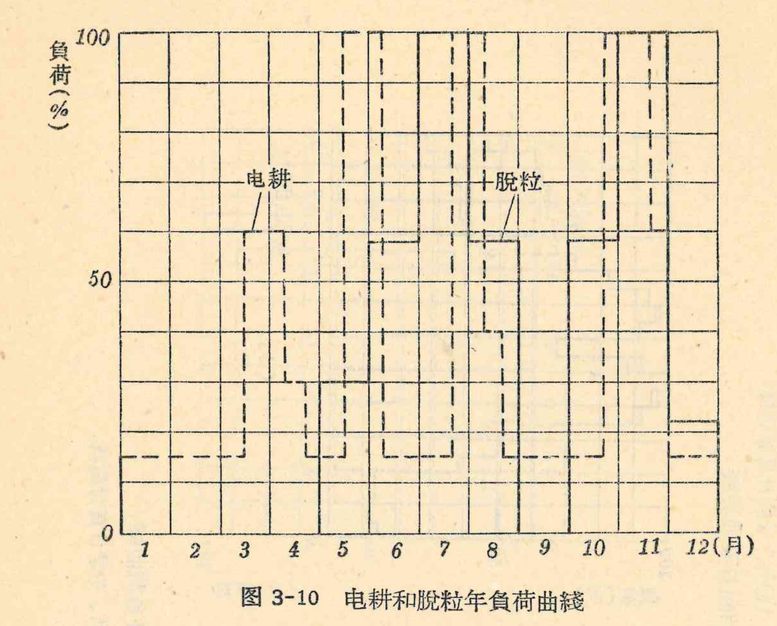


图 3-10 电耕和脱粒年負荷曲綫

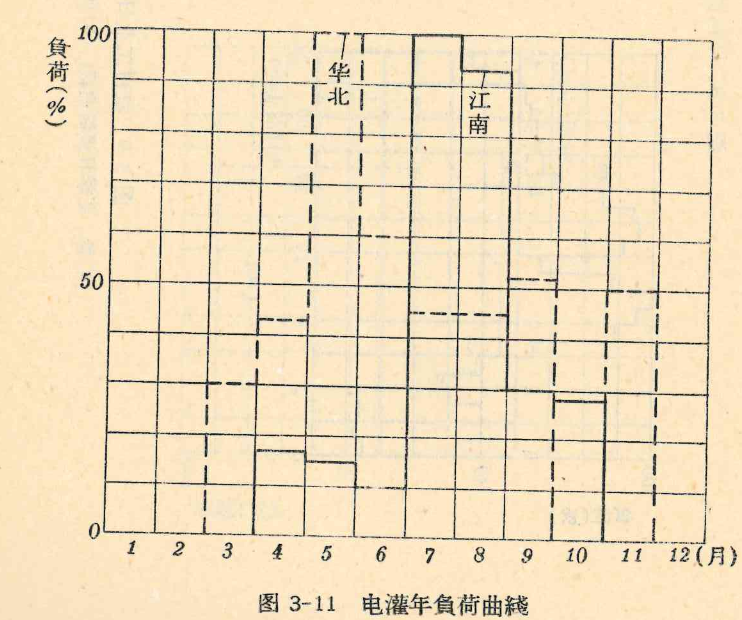


图 3-11 电灌年負荷曲綫

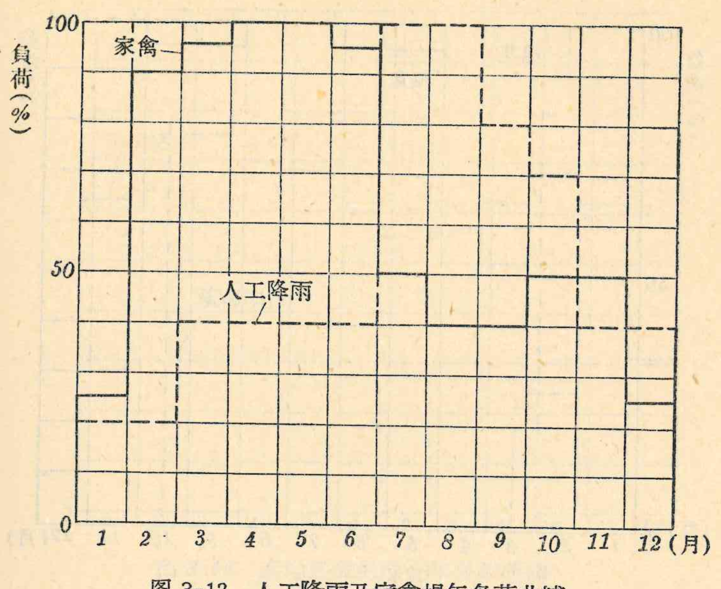




图 3-12 人工降雨及家禽場年負荷曲綫

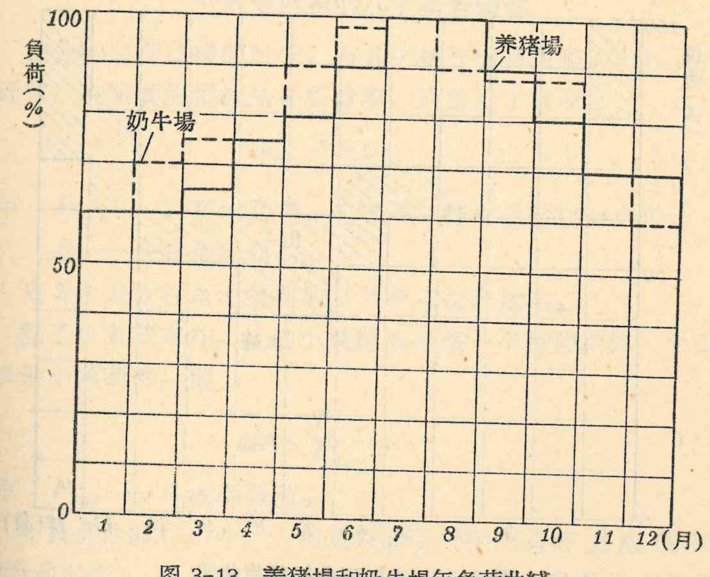


图 3-13 养猪場和奶牛場年負荷曲綫

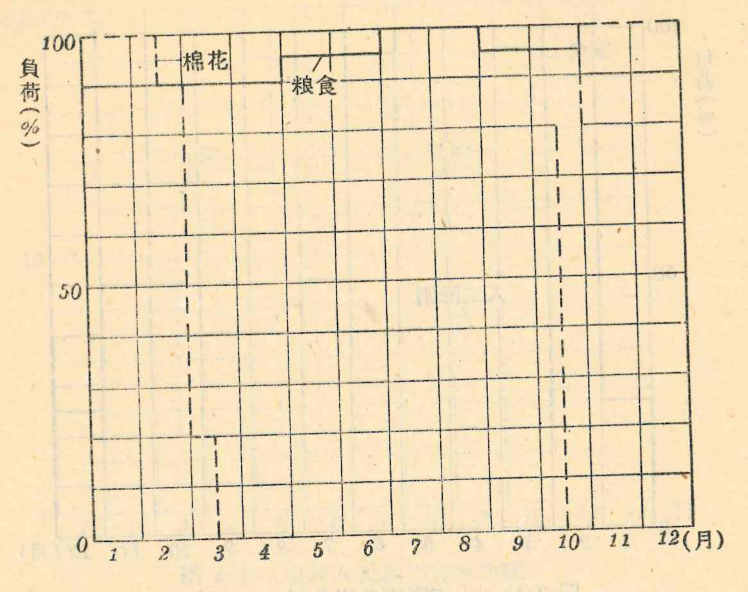


图 3-14　农产品加工年負荷曲綫

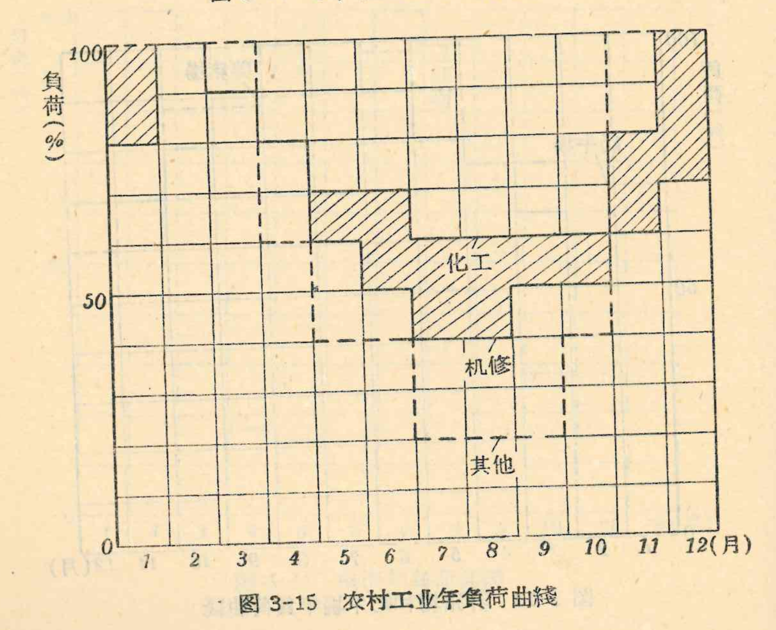


图 3-15　农村工业年負荷曲綫

图 3-16　某地区农村綜合年負荷曲綫

2. 負荷曲綫的几个主要指标

在分析負荷曲綫的时候，有几个指标值得重視。对日負荷曲綫而言，最重要的指标是日負荷率，通常用 γ 表示：

$$\gamma=\frac{P_{p.j}}{P_{z.d}},\tag{3-7}$$

式中　$P_{p.j}$——日平均負荷，它等于日耗电量除以24小时；

$P_{z.d}$——日最大負荷。

表 3-7 是农村电力負荷的日負荷率統計数字。

除了日負荷率外，日最小負荷率也是一个重要指标，用 β 表示日最小負荷率，則

$$\beta=\frac{P_{z.x}}{P_{z.d}},\tag{3-8}$$

式中　$P_{z.x}$——日最小負荷。

年負荷曲綫有二种：一种是考虑了一年內負荷上漲的因素（称为动态的），它与負荷上升的速度有关；另一种是沒有考虑負

荷增加的因素，只是表示一年內因季节影响而引起負荷的变化（称为静态的）。表示年負荷曲綫的主要指标是年不均衡率，以ρ代表年不均衡率，则

$$\rho=\frac{P_{p.j.n}}{P_{z.d.n}}, \tag{3-9}$$

式中　$P_{z.d.n}$——年最大負荷；

$P_{p.j.n}$——一年內各月最大負荷的平均值，即一年內各月最大負荷的总和除以12。

表 3-7　石家庄附近农村地区各季度电力負荷的日負荷率(%)

負荷名称	春季	夏季	秋季	冬季
1.田間作业	53	84	69	33
2.畜牧业	43	45	40	39
3.生活照明	22.2	19.8	22.2	24.2
4.农村用电(包括1～3項)	55	71	69	49
5.农村工业	63	62.5	63	54.5
6.农业綜合負荷	—	68	—	53.6

此外，还有一个指标，即月不均衡率，它表示一月內日发电量的变化情况。以σ表月不平衡率，则

$$\sigma=\frac{L_{p.j}}{L}, \tag{3-10}$$

式中　$L_{p.j}$——全月的平均日发电量；

L——一月中最大負荷日的发电量。

利用γ、σ和ρ可以求出負荷的年最大利用小时T，即

$$T=8760\gamma\cdot\sigma\cdot\rho \text{ 小时}.$$

上式仅在各月之γ和σ相同时才能采用，如果γ和σ逐月变化，則应先求出γ和σ之平均值，以$\gamma_{p.j}$和$\sigma_{p.j}$表示它們的平均值，則

$$\gamma_{p.j}=\frac{\sum_{1}^{12}P_{p.j}}{\sum_{1}^{12}P_{z.d}}, \tag{3-11}$$

$$\sigma_{p.j}=\frac{\sum_{1}^{12}L_{p.j}}{\sum_{1}^{12}L}, \tag{3-12}$$

式中　$\sum_{1}^{12}P_{p.j}$——12个月中月最大負荷日的日平均負荷的总和；

$\sum_{1}^{12}P_{z.d}$——12个月中月最大負荷日的最大負荷的总和；

$\sum_{1}^{12}L_{p.j}$——12个月中全月平均日发电量的总和；

$\sum_{1}^{12}L$——12个月中月最大負荷日的发电量的总和。

表 3-8 給出了上海郊区电力負荷$\gamma_{p.j}$、$\sigma_{p.j}$和ρ（静态的）的数值，以供参考。

表 3-8　上海市郊区电力負荷的几个主要指标

名称	$\gamma_{p.j}$(%)	$\sigma_{p.j}$(%)	ρ(静态的)(%)	T(小时)
电力灌溉	83.5	61.5	24.2	1100
人工降雨	31.3	50	50.7	700
脫粒揚淨	34	51.5	35.8	550
电力耕作	59	55	65	1850
大型养猪場	35.8	90	78.3	2200
小型养猪場	40.8	90	98	3100
奶牛場	70	90	80	4400
家禽孵化	92	90	63.3	4600
农村生活照明	24.2	100	90	1800
农村工业	60.8	80	95	4000
农村生产負荷	58	75	59	2280

3.地区电力負荷曲綫的編制

在一般的供电規划中不需要編制負荷曲綫，当規划地区水电站的比重較大时，可以根据需要編制供电地区电力負荷曲綫，以便比較精确地研究供电地区內的电力电量平衡，水、火电站的装机容量和調压計算。

編制地区綜合电力負荷曲綫的方法有二种：一种是利用地区現有的負荷曲綫，研究它的用电結构（例如分成排灌、农副产品加工、照明等几个部分，求出它們所占百分数），如果以后的用电結构与現在情况相差不多，那么今后負荷曲綫的形状就算作和現在是一样的。如果某一部分用电比例变化很大，那么超过原比例关系的那一部分負荷，应按典型曲綫画出它的負荷曲綫，再和現有曲綫相加即得今后該地区綜合电力負荷的負荷曲綫。用这个方法比較簡便省力，而且也比較正确。但是必須收集到該地区已有的負荷曲綫，而且在用电方式上在所分析的年限不会有很大变化。

另一种編制綜合負荷曲綫的方法，是把各种用戶用电的典型曲綫根据它們負荷的大小迭加而成。用这种方法比較費时，而且必須知道有关各类用戶的典型負荷曲綫。

上述方法是在編制城市及工业負荷曲綫时采用的方法，农村电力負荷曲綫究竟采用什么办法較好，須要在今后实踐中加以解决。

第四章 农村供电电源的选择

4-1 农村供电电源的种类及其特点

农村供电电源的选擇，是农村电气化規划中的重要問題之一，如能很好的解决，对保証农村供电安全，节約建設資金，充分利用动力資源，节省燃料和人力、降低成本等具有很大的作用。供电电源的选擇，与材料設备的供应、規划地区內能源和交通条件、附近区域电力系統的情况以及农村負荷的大小和特点等，都有密切的关系。所以，供电电源的选擇，必須結合規划地区实际情况因地因时制宜地加以解决。

不同的供电电源，具有不同的优缺点，簡述如下：

1.区域电力系統供电

这是現阶段农村的主要供电电源。与农村电站比較，它的供电可靠性較高，供电质量較好，能够适应負荷迅速增长的需要；另外，还有以下經济效益：

（1）单个机組的容量較大，每瓩造价低（一般为400～700元/瓩，而农村火电站为800～1200元/瓩）；

（2）火电站的煤耗小（一般为0.5～0.6公斤/度，而农村火电站在1公斤/度以上），管理人員少（一般为8～10人/千瓩，而农村火电站則为50～80人/千瓩），电能成本低（一般发电成本为2～4分/度，而农村火电站的发电成本則为8～15分/度，有的甚至更大）；

（3）发电設备利用程度高（一般发电設备利用小时为5000～6000小时，而农村火电站則为1500～2500小时）；

（4）由于农村高峰負荷和系統中高峰負荷可能錯开，系統供电可减少装机容量（一般为建設农村电站容量的30～70%）；

（5）农村負荷季节性大，高峰多出現在夏、秋两季，为充分利用系統中水电站的季节性电能創造了条件；

（6）系統供电一般不受自然条件的限制，能够迅速地滿足农业用电要求（农村电站常由于地形、地质、水泥、交通和出灰場地等問題不易解决，給农村电厂的建設造成很大困难）；

但是，由于系統供电需要架設較长的高压綫路，有鋁消耗較多（約 4～7 公斤/瓩）和送变电材料設备消耗較大的缺点，因而系統供电的經济区域不是无限的，而是限制在一定的范圍之內（詳見本章4-4节）。

2.农村电站供电

我国土地辽闊，动力資源丰富，各地地理条件亦有所不同，如平原地区，河流較多地区，及河网化有較大发展的地区。除了电网所及地区可由区域电力系統供电外，在远离电网的地区，为滿足农村及城鎮用电要求，可根据当地能源（煤炭、石油、风、气、水能等）条件，建設一些小型电站，特别是結合防洪、灌溉等綜合利用建設一些小型水电站。与系統供电比較，这些小型电站除了都具有靠近負荷、送变电設备和銅鋁消耗較少等优点外，还各有如下特点：

（1）农村水电站　与小火电站比較，水电站不用燃料，管理簡便，維护人員少（如一台300瓩的水电站，直接生产人員只有17人，而一台750瓩的火电站約有70人），发电成本低（低的只有1～2分/度，高的約有 3～5 分/度，而小火电站則为8～15分/度）。但是，每瓩的造价比較高（以发电为主的农村水电站一般是1500～2000元/瓩），土石方工程量較大，需要劳动力較多，修建某些农村水电站，还要造成土地的淹没損失和迁移人口，同时，受自然条件的影响較大，在冰冻期和枯水期或在与灌漑用水有矛盾时，出力可能减少，甚至不能发电。为了克服这一缺点，在有条件的地方应該尽量使它們和火电站联网。

（2）农村火电厂　一般适宜建在城鎮附近和有燃料的地区。

根据不同的燃料，主要可分为：燃煤的和燃油的两种火电厂。

1）燃煤的火电厂　一般只有在利用当地产煤或运煤距离不长的情况下，建設燃煤的火电厂才是有利的。如果当地缺煤，需要經过长距离运輸时，将会大大增加发电成本。目前农村运輸，尤其是短途运輸的劳动力和工具，都很缺乏，运輸困难，費用也很高，有的农村火电厂到厂煤价甚至达到百余元一吨（出厂价格只有30～50元/吨）。小火电厂的运行管理比較复杂，发电成本較高（8～15分/度），适应負荷变化的能力亦較差，是建設小火电厂的不利因素。

2）燃油的火电厂　其燃料可分为汽油和柴油两种（汽油低位发热量为10500大卡/公斤，柴油为 10000 大卡/公斤），一般容量比較小（100 瓩以下），目前主要在一些小城鎮和工矿企业用得比較多。这种电厂造价比較便宜（約 400～500 元/瓩），有色金属和器材消耗較少（中小型油机每匹馬力的体重約10多公斤，而小型火电厂每瓩的鋼材重量就有150公斤），管理人員少，运行簡便，可按需要随时起动和停机，燃料运輸費用和电能損失較少。但是，燃料价格較貴，运行成本較高，而且要求較高的运行管理的技术，所以只有在負荷較小，远离煤源、交通运輸不便的地区和产油的地区，或作为临时过渡的电源，才考虑建設这种发电厂。

（3）风力发电站　这种电站的特点是：容量小（大的只有几个瓩，小的不到一个瓩），运行人員少，管理簡便，成本較低。但是，由于风力时大时小，电站出力很不稳定。为了克服这一缺点，提高供电可靠性和减少电压波动，需要采取蓄能措施（如利用蓄电池），而采取这一措施又将大大增加它的造价。所以，目前除在风力平稳、負荷小而分散、远离区域电力系統且缺乏水力資源的山区或草原地区外，一般不考虑建立风力发电站。

从我国具体情况来看，农村供电电源，应以电网供电为主。即在区域电力系統經济合理的供电范圍內，首先考虑由区域电力系統供电。如考虑建設农村电厂时，应首先考虑是否有条件建設水电站。如离产煤地不远，运輸便利，则可考虑建設火电厂。应

該指出，全国各地情况相差很大，农村电源的选擇最好通过技术經济分析来确定。

4-2 电力平衡

在选擇农村供电电源时，为了确定电力系統的供电容量或农村电站的装机容量，需要进行該地区的电力平衡，其格式如表4-1所示。这个表适于从区域电力系統取得电源时作电力平衡之用。如作农村电力系統的电力平衡时，取消表中(2)、(3)、(4)項即可。

表4-1 ×××电力平衡表
（单位：瓩）

編号	名称	19××年	19××年	19××年	19××年	19××年	备注
(1)	××供电最大負荷						
(2)	区域电力系統供电最大負荷						
(3)	供电最大負荷总計						(1)+(2)
(4)	同时系数						指(1)与(2)間
(5)	厂用电率						
(6)	发电最大負荷						(3)×(4)再加厂用电
(7)	发电設备工作容量						
	(一)現有发电設备工作容量						
	其中：水电						
	火电						
	(二)新增发电設备工作容量						
	其中：水电						
	火电						
(8)	电力盈亏						(7)−(6)
(9)	备用率						(8)÷(6)

在編制电力平衡表时，需要注意下列几个問題：

(1)农村电力系統一般不考慮事故备用，檢修可安排在非排灌或农閑季节进行，所以檢修备用也可不予考慮。但需要考慮負荷备用，它的数值一般为发电最大負荷的3～5%。

(2)在选擇农村火电厂的单机容量及装机台数时，要考慮对供电的連續性和可靠性的要求，也要考慮負荷季节性变化时或輕負荷时保証机組的稳定运行和机組輕負荷时煤耗的增加。所以一般来說农村电厂最好选用二台(也可二台以上)机組，但二台机組先后投入运行的时間，可相隔2～3年。

(3)发电設备工作容量不一定就是发电設备的銘牌容量。在电力平衡的計算中，水电站的工作容量是指水电站設計枯水年某一个月(参加平衡的那一个月的)的工作出力加备用容量。火电厂的工作容量，当設备不受任何条件限制时，就是它的設备容量，否则，应从設备容量中减去因故不能发电的容量。

(4)农村电力負荷与农村水电站的工作出力，多数是季节性的，且可能相互矛盾。此时，要进行最大負荷月份及水电工作出力最小月份的两种电力平衡。前一种情况可能发生在夏季，而后一种情况可能发生在冬季。当进行最大負荷月份的电力平衡时，参加平衡的水电厂的工作出力应按該月份在枯水年的工作出力来計算。

4-3 农村火电厂的厂址选擇

选擇火电厂的厂址时，一般需要注意下列問題：

(1)厂址地形，地质情况，不受水淹。

地势要平坦，以减少場地平整工作，最好有一个不大的自然坡度(約千分之三至五)，以便排除雨水。

地质要好，一般地耐力大于15吨/平方米較合适。如地基是比較密实的粘性土，建厂就合适；反之，如地基是人工塡土，沼泽土或比較疏松的粘性土，就不宜建厂，因为可能发生厂房基础下沉，甚至遭到破坏。厂址不要选擇在矿床上面或有强烈地震的地区。一般地震强度在7度以下較合适。

厂址不能有受水淹的危險，厂区的地坪要高出洪水位0.5米以上。

(2)厂址要靠近水源，而且在枯水期，仍应保証供应电厂用

水。电厂用什么供水方式和冷却系統，是由水源流量大小而定的。如厂址在河边，且該河在枯水期的流量仍然很大，即可采用一次循环的冷却系統；水量較小，可采用二次循环(修建冷却池、噴水池或冷却塔)的冷却系統。如厂址附近沒有河流經过，可在厂区打井，取用地下水作为水源，此时只能用二次循环的冷却系統。

(3)交通运輸要方便，因为建設电厂时，要运輸設备和建筑材料，建成后要运輸煤炭和灰渣，所以厂址应靠近公路、鉄路或通航的水道。当电厂容量較大时，亦可考虑修建鉄路支綫。

(4)要有合适的灰場，灰場要尽可能不占用农田。

(5)其他条件：

1)厂址要尽量靠近負荷中心，特别是热电厂要紧靠热用戶，以便减少送电綫、供热管道的建設费用和送电、送热損失；

2)要有引出綫路的可能(这在农村一般不会有問題)；

3)在有燃料地区，要尽量靠近产地，以减少运輸費用；

表4-2 选擇火电厂厂址时几个概略的技术数据

火电厂类型	容量	装机台数	装机总容量(瓩)	用水量(吨/时)		厂区用地(公頃)	出綫走廊寬度(米)	备注
				一次循环方式	二次循环方式			
凝汽式	750瓩	2	1500	720	50	1～2	10～30	
		4	3000	1440	100	2～3	10～30	
	1500瓩	2	3000	1100	60	2～4	20～50	
		4	6000	2200	120	3～5	20～50	
发电厂	2500瓩	2	5000	1800	90	3～5	20～50	
		4	10000	3600	180	4～6	20～50	
		6	15000	5400	270	5～7	20～50	
	6000瓩	2	12000	2600～3100	200～220	4～6	50～100	
		4	24000	5200～6200	400～440	6～10	50～100	
		6	36000	7800～9300	600～660	10～15	50～100	
热电厂	1500瓩	2	3000	37	37	3～6	20～50	供热能力40吨/小时
	6000瓩	2	12000	1600	200	6～10	50～100	供热能力100吨/小时

4)厂址要适当結合城鎮規划的发展需要，尽量不使电厂烟囱排出的灰烟，影响城鎮卫生，故厂址应选在城鎮的下风向。另外还要便于解决电厂职工的生活福利問題。

以上厂址条件，往往是有矛盾的，能滿足这个条件，就不能滿足那个条件。例如厂址选在靠近燃料基地，常常不能靠近負荷中心；所以，在选擇厂址时，一般要对几个厂址方案，进行技术經济比較分析，从中选擇最有利的厂址。

选擇火电厂厂址时某些技术数据，如表4-2所示。

4-4 区域电力系統向农村供电的經济合理范圍

区域电力系統向农村供电的經济合理范圍，是和系統中电厂每瓩的造价、煤耗、电力系統的发电成本、农村最大負荷与系統最大負荷錯开程度，以及农村电厂的造价、进厂煤价等因素有密切的关系。不同的系統，可能有不同的經济合理供电范圍，所以对于具体系統向农村供电的經济合理范圍，需要因地因时制宜地进行分析比較，加以确定。

1.作分析比較时，需收集下列資料

(1)区域电力系統新建及可能的扩建地点，它的电压等級，与农村电力負荷中心的距离。系統中近期扩建电厂的单机容量，每瓩的造价、燃煤的平均低位发热量及煤价(包括运輸費)，供电成本、发电成本、煤耗、网损率及厂用电率等；

(2)农村火电厂的燃料来源，煤的低位发热量及到厂价格；

(3)适合当地情况的技术經济指标，如发送变电的綜合投資，各种燃料运輸方式及其运輸費用；

(4)农村电力負荷的逐年增长情况，地理分布；

(5)区域电力系統的負荷和农村負荷在一年內的变化情况；

(6)有关地区的地形图及火电厂厂址資料。

2. 区域电力系統供电和农村火电厂供电的技术經济比較

关于技术經济比較的方法，在第二章已作詳細介紹，下面将通过一个例子来介紹电源比較的內容和步驟。

例： 某地区农业用电为2700瓩(利用小时为2500小时)，主要是排灌用电。該地区距离区域电力系統100公里(指綫路长度)，当地亦具备建立火电厂的条件。試問滿足該地区用电要求，由区域电力系統供电(第Ⅰ方案)好？还是建立一座农村火电厂(第Ⅱ方案)好？

两供电方案的原則結綫如图4-1(只划出不同部分)

110千伏　6千伏
AC-50　100公里
2700-j2022千伏安
cos φ=0.8
系統　5600千伏安

第Ⅰ方案

6千伏
2700-j2022千伏安
cos φ=0.8
2×1500瓩

第Ⅱ方案

图 4-1

(1)設备选擇　第Ⅱ方案考虑了5%的負荷备用和5%的厂用电后，需要容量达2970瓩，选用了2台1500瓩机組。

在第Ⅰ方案中，由系統供电的容量为3400千伏安(2700瓩、cosφ=0.8)，降压变压器容量选用一台5600千伏安变压器。輸电綫路的导綫截面，由于受电量条件的限制，选用了LG-50(从經济电流密度来看还可以小一些)。

表 4-3

序号	計算項目及公式	单位	第Ⅰ方案	第Ⅱ方案
一	投資計算($Z=Z_{f.d}+Z_{x.l}+Z_{b.d}+Z_b$)	万元	246.2	270.9
	1.发电工程：	万元	82.5	270
	$Z_{f.d}=x_{t.sh}\cdot R_{zh.j}\cdot z_{f.d}\cdot 10^{-4}$			
	式中 $x_{t.sh}$——农村最大負荷与区域电力系統最大負荷的同时率		0.5	1
	$z_{f.d}$——单位瓩装机容量投資	元/瓩	550	900
	$R_{zh.j}=P_{g.d}(1+x_{ch.y}\%+x_{f.b}\%)$——装机容量	瓩	3000	
	式中 $P_{g.d}$——供电負荷	瓩	2700	
	$x_{ch.y}\%$——厂用电率	%	8	
	$x_{f.b}\%$——負載备用率	%	3	
	2.送电工程：$Z_{x.l}=z_{x.l}\cdot L$	万元	113	
	式中 $z_{x.l}$——每公里綫路綜合投資	万元/公里	1.13	
	L——綫路长度	公里	100	
	3.变电工程：$Z_{b.d}=(z_1+z_2+z_3)(1+z_4)$	万元	47.5	0.94
	式中 z_1——变压器本身綜合造价	万元	9.45	
	z_2——开关間隔綜合造价	万元	7.27	0.94
	z_3——变电站固定費用	万元	29.7	
	z_4——变电站其他費用	%	2.5	
	4.补充发电設备投資 Z_b	万元	3.2	
	$Z_b=z_{f.d}x_{t.sh}\left[x_{\Delta p}P^2L+\left(\frac{P}{W_{e.d}\cos\varphi}\right)^2\cdot\Delta P_{d.l}+\Delta P_{k.z}\right]10^{-4}$			
	式中 $x_{\Delta p}$——架空綫有功損失系数	瓩/千瓩²·公里	0.093	
	$W_{e.d}$——变压器額定容量	千伏安	5600	
	P——傳送功率	千瓩	2.7	
	L——綫路长度	公里	100	
	$\Delta P_{d.l}$——变压器短路損失(銅損)	瓩	62.5	
	$\Delta P_{k.z}$——变压器空載損失(鉄損)	瓩	25.5	
	$\cos\varphi$——功率因数		0.8	
二	运行費用($F=F_{zh.j}+F_m+F_{x.l}+F_{b.d}+F_{n.s}$)		34.95	76.0
	1.发电厂折旧維护費 $F_{zh.j}=x_{zh.j}\cdot Z_{f.d}$	万元	7.0	32.4
	式中 $x_{zh.j}$——发电厂折旧維护率	%	8.5	12

續表

序号	計 算 項 目 及 公 式	单 位	第Ⅰ方案	第Ⅱ方案
二	2.电厂燃煤費$F_m=L_{f.d}\cdot x_m\cdot J_m\cdot 10^{-7}$	万元	16	43.5
	式中 $L_{f.d}=R_{f.d}\cdot T$——发电量	百万度	7.3	7.1
	$R_{f.d}=P_{g.d}(1+x_{ch.y})$——发电容量	瓩	2920	2840
	T——发电負荷利用小时	小时	2500	2500
	x_m——煤耗(发热量为4000大卡/公斤)	公斤/度	0.875	1.53
	J_m——原煤到厂价格，其中包括运輸、装卸費	元/吨	25	40
	3.送电綫路折旧維护費$F_{x.l}=x_{x.l}\cdot Z_{x.l}$	万元	6.1	
	式中 $x_{x.l}$——綫路折旧維护率	%	5.4	
	4.变电站維护折旧費$F_{b.d}=x_{b.d}\cdot Z_{b.d}$	万元	4.8	0.1
	式中 $x_{b.d}$——变电站折旧維护率	%	10	10
	5.电能損失費$F_{n.s}=F_{x.s}+F_{b.s}$		0.105	
	(1)綫路損失費			
	$F_{x.s}=x_{\Delta p}\cdot P^2\cdot L\cdot B_{d.n}\cdot\tau.10^{-6}$	万元	0.33	
	式中 $B_{d.n}$——电能成本	分/度	3	
	τ——最大負荷損耗时間	小时	1650	
	(2)变电損失費			
	$F_{b.s}=\left[\left(\frac{P}{W_{e.d}\cos\varphi}\right)^2\cdot\Delta P_{d.l}\cdot\tau+8000\cdot\Delta P_{k.z}\right]B_{d.n}\cdot 10^{-6}$	万元	0.72	

表 4-4 两方案的主要材料消耗計算

計 算 項 目 及 方 法	单位	第Ⅰ方案	第Ⅱ方案
一、鋼材	吨	272	474
1.发电工程	吨	180	474
2.送电工程	吨	16	
3.变电工程(5600千伏安)	吨	76	
二、銅	吨	6.4	12
1.发电工程	吨	2.9	12
2.变电工程(5600千伏安)	吨	3.5	
三、鋁	吨	43.4	
1.送电工程	吨	43.2	
2.变电工程	吨	0.2	
四、煤炭(一年)	吨	6664	10900
1.电厂(負荷用电量和厂用电量的煤耗)	吨	6400	10900
2.綫損(包括变压器)	吨	264	

(2)供电电压选擇 在第Ⅰ方案中，区域电力系統有35、110千伏二种电压，但35千伏电压級不能满足技术上要求，因而选用了110千伏作为向該地区供电的电压等級。采用110千伏电压也促进了其他地区电气化的发展。第Ⅰ方案的配电电压，为了簡化比較內容，采用6千伏电压，这样和第Ⅱ方案有相同的比較基础。但是在实际工作中，可能选用10千伏更为合适。这时，在配电电网方面的差別，也应在比較中考虑。

(3)計算表明，第Ⅰ方案(系統供电)的綫路电压降在2.5%以內，所以两方案的电压质量均能满足用戶要求。在供电可靠性方面，两方案都能满足农业負荷要求。

(4)方案的經济比較：

在經济比較中，有关的发、送、变綜合經济指标，系采用本手册第二章所推荐的数值。

各項經济計算如表4-3所示。

由上述技术經济分析表明，采用区域电力系統供电方案是經济合理的。綜合起来有以下几点：

(1)两方案均能满足农业供电要求，但在运行方面由系統供电要簡便一些；

(2)在投資和运行費方面，均以系統供电方案較为經济，大約可节約100%的运行費用和10%的投資；

(3)在主要材料消耗方面，系統供电虽比建立农村火电厂多消耗40多吨鋁，但可节約200多吨鋼材、6吨銅、4300吨原煤(如表4-4所示)；

(4)由系統供电可減少大量的生产管理人員。

3.区域电力系統向农村供电的經济合理范圍及其影响因素

(1)按照和例子計算同样的方法，对表4-5中所列条件进行了經济計算探討区域电力系統向农村供电的經济合理范圍及其影响因素。

表4-5

項　　目	单 位	区域电力系統供电方案	建立农村火电厂供电方案			
1.电厂机組容量	千瓩		1×0.75	2×0.75	2×1.5	2×3
2.单位瓩投資	元/瓩	400;550;700	1200	1000	900	840
3.厂用电率(电力)	%	8	5	5	5	5
4.煤耗率(标准煤)	公斤/度		1.17	1.17	0.875	0.625
5.折旧維护率	%	8.5	12	12	12	11
6.到厂原煤价	元/吨	25	25; 40; 55			
7.电能成本	分/度	3				
8.同时率		0.3;0.5;0.7	1			
9.供电电压	千伏	35;60;110	6			
10.功率因数		0.8	0.8			
11.标准抵偿年限	年	5	5			

(2)根据两方案5年內总計算費用相等的条件，得出区域电力系統和农村电站供电范圍的經济范圍。如图4-2所示。

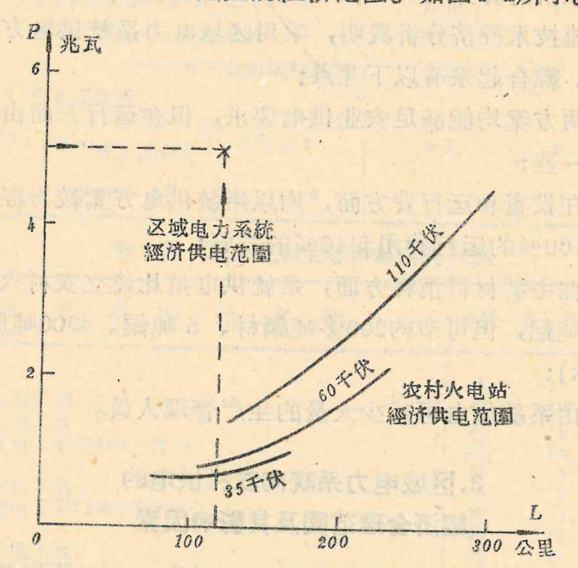


图4-2　区域电力系統向农村供电的經济合理范圍
(与小型火电厂的比較)
系統供电：瓩投資550元/瓩，煤价25元/吨，同时率$\sigma_{t.sh}$=0.5.
小型火电厂：煤价40元/吨，負荷利用小时T=2000.

(3)影响系統經济供电范圍的几个因素

1)同时率的影响　这里的同时率系指农村最大負荷与区域电力系統最大負荷相互錯开的程度。其值的大小，和农业用电占系統总用电的比重，农业用电特性以及系統負荷特性有密切关系，一般为0.3～0.7。为滿足农村同一用电要求，如在农村建設小型电站，则需要100%的容量，而由区域系統供电，只需要30～70%的容量。这个值大小，对区域电力系統的經济供电范圍，有显著影响。从图4-3可以看出，随同时率的增大，系統供电的經济范圍显著縮小，而且負荷愈大，影响越大。

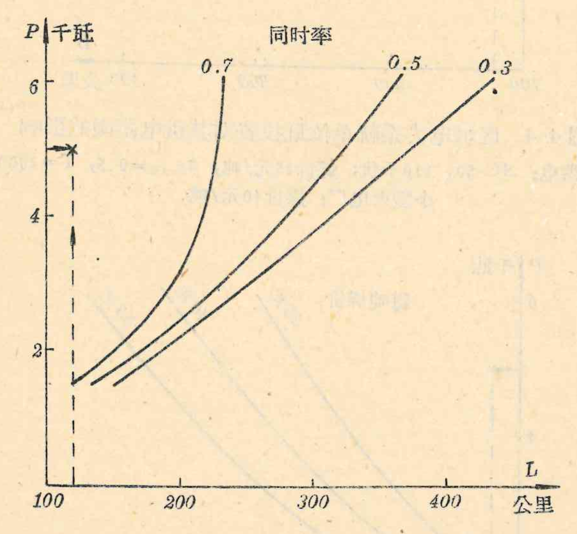


图4-3　同时率对区域电网供电范圍的影响
系統供电：AC-50，110千伏；瓩投資550元/瓩；煤价25元/吨.
小型火电厂：煤价40元/吨，負荷利用小时T=2000.

2)单位瓩投資的影响　由于系統中的单机容量較农村电站为大，单位瓩投資較低，这种差別，对系統供电的經济范圍也有显著的影响。从图4-4看出，随着系統单机容量的增大，单位瓩投資的降低，系統供电的經济范圍在扩大。

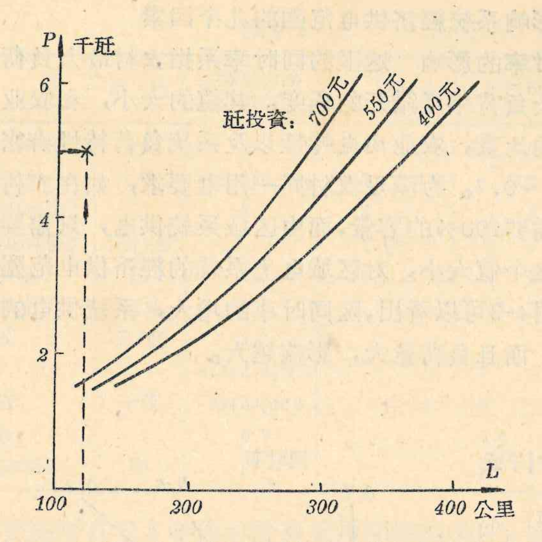


图 4-4　区域电力系統单位瓩投資对其供电范圍的影响

系統供电：AC-50，110千伏；煤价25元/吨，$x_{t.sh}=0.5$，$T=2000$.

小型火电厂：煤价40元/吨.

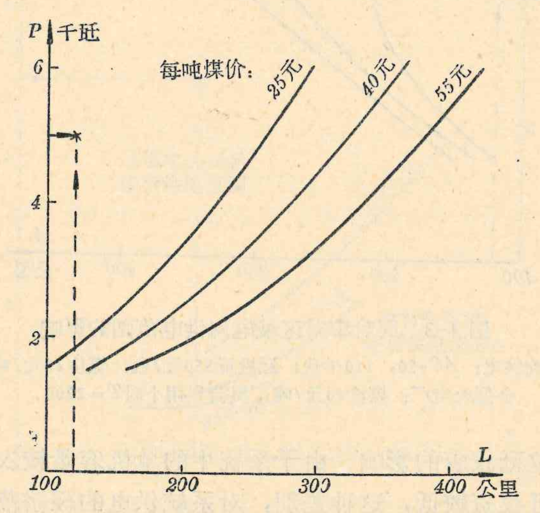


图 4-5　小型火电厂煤价对区域电网供电范圍的影响

系統供电：AC-50，110千伏；煤价25元/吨；瓩投資550元/瓩；

$x_{t.sh}=0.5$；$T=2000$.

3)农村火电厂燃煤費用的影响　由于系統电厂和农村电厂的燃煤到厂价格的差别，对系統供电的經济范圍亦有較大的影响，如图4-5所示。当系統电厂的到厂煤价为25元/吨，而农村电厂的到厂煤价为25元/吨、40元/吨和55元/吨三种时，随着到厂价格相对差值的增加，系統供电的經济范圍在扩大。

4)由图4-2至图 4-5 可知系統供电的經济范圍(对自建农村小型电厂而言）受很多因素的影响。在决定方案时，要因时因地制宜，进行詳細分析論証，不过可以认为，当区域电力系統有110千伏时，在系統附近 100～150 公里范圍內，建設农村小型火电厂来实現大片地区的农村电气化一般是不經济的。

第五章　农村电力网的规划

5-1 概　述

电力网电压等級、接綫方式和变电站布局的正确确定，不但能节約农村电力网的建設資金，而且也影响运行的安全和供电质量。因此，它是农村供电規划中的一項重要工作。

农村电力网的电压等級、接綫方式和变电所的布局之間有一定的关系，而并不是相互独立的。在实际工作中，大致說来，先把負荷和变电所的布点初步定下来，然后再研究电压等級和接綫方式，最后，再作必要的修正。

决定电力网电压、接綫和变电所布局的主要因素是負荷的性质和大小，負荷之間、負荷和电源之間的相互距离。一般說来，通过几个方案的技术經济比較才能选擇到比較正确的方案来。

5-2 电压的选擇及各級电压的供电范圍

电力网的額定电压是由国家規定的，額定电压一般都指綫电压(即相与相之間的电压)。例如綫路額定电压是10千伏，它的相电压是綫电压的$\frac{1}{\sqrt{3}}$倍，即5.8千伏。我国已頒布的电力网的标准电压等級有330、220、154、110、60、35、10、6、3千伏和500、380、220伏等十二种，相应于上述标准电压的发电机和变压器端子間的額定电压值見表5-1。

各种不同电压电力綫路的輸送容量及輸送距离，不但受到技术条件的限制（如电压降不能超过某一数值，功率因数的大小等），而且又受到經济条件的影响。在規划中需要根据具体的条

表5-1　电力网、发电机和变压器的額定电压表

电力网額定电压	端子間額定电压		
	发电机	变压器	
		一次綫卷	二次綫卷
单位为伏			
220	230	220	230
380	400	380	400
500	525	500	525
单位为千伏			
3	3.15	3及3.15	3.15及6.3
6	6.3	6及6.3	6.3及6.6
10	10.5	10及10.5	10.5及11
—	15.75	15.75	
35		35	38.5
60		60	66
110		110	121
154		154	169
220		220	242
330		330	360

件进行具体分析才能确定它的数值。不过，各級电压电力綫路的輸送容量及輸送距离也有一定的范圍，在大多数情况下如表5-2所示。

表5-2　各級电压电力綫路輸送容量及輸送距离的大概范圍

电压（千伏）	輸送功率（瓩）	輸送距离（公里）
0.38	100以下	0.6以下
3	100～1000	1～3
6	100～1200	4～15
10	200～2000	6～20
35	1000～10000	20～70
60	3500～30000	30～100
110	10000～50000	50～150

在我国目前所采用的农村供电电压，低压为380伏及220伏二种，高压虽然有3、6、10、20、33、35、60及110千伏等八种，但更普遍和广泛采用的则为6、10、35及110千伏四种。

农村电气化在我国正处于一个蓬勃发展的阶段，各地的用电情况相差极大，負荷密度变化范圍大致在每万亩耕地100～200瓩間；因此究竟采用何种电压等級及电压組合方案对农村供电是最經济的最合理的，值得进一步研究。目前供电电压中，个别非标准电压如33千伏应該不予发展或逐步改造为35千伏，但另一非标准电压如20千伏，在負荷密度比較高或配电点負荷比較大而又相距較远的地区，与60千伏或110千伏电压相互配合作为农村供电电压可能是极其有利的；此外，在非灌区500伏一級标准电压亦可能有推广的价值。在目前規划工作中，电压等級的选擇，可以按照国家已頒布的标准电压等級来考虑；同时亦应該根据規划地区內的負荷特点等进行采用20千伏电压和500伏电压的研究，寻求合理的电压組合关系，如110与35千伏或60与20千伏等，为进一步制訂农村电力网的額定电压等級和电器設备的制造提供依据。

电力网电压的选擇，一般应通过技术經济分析来决定。不过有一些設計和运行經驗的总結，值得在編制規划时加以注意的。

（1）两个不同电压的方案的經济指标相差不多时，应該首先采用較高电压的方案。这是因为对于同一負荷条件下采用較高电压，有下列优点：

1）減少銅、鋁的消耗　用同一經济电流密度选擇截面时，两种电压方案中的截面之比約与它的电压成反比。例如采用6千伏电压比采用10千伏电压就要多消耗67%左右的鋁（負荷很小，导綫截面須按机械强度来选擇时，两种电压的导綫截面是一样的）。如果导綫截面按允許电压降来选擇时，在功率因数等于1的情况下，二种电压方案中的截面之比約与电压的平方成反比。总之，采用电压較高的方案，在一般情况下总是节省銅、鋁金属的。

2）減少电能損耗　在按經济电流密度选擇截面时，高电压方案不仅节約有色金属，同时还节省电能損耗。二个方案电能損失的比值約与它的电压成反比。在（1）中所述例子中，6千伏的电能損失也要比10千伏多67%左右。

3）有利于采用廉价导綫　因为采用高电压的方案，綫路流过的电流減少了，就可采用便宜的鉄綫。

4）有利于負荷的进一步发展　因为高电压綫路的通过能力要大于較低电压的綫路。

（2）对于6千伏及10千伏两种电压，由于它們的設备在造价上相差不多，根据（1）中所述的原則，应該推广采用10千伏。但在下列情况下，6千伏电压仍然可以考虑采用。

1）該地区已有6千伏电力网供电；

2）发电厂发电机电压为6千伏时；

3）地区的負荷密度很小，极大部分导綫截面按机械强度来决定时；

4）若用戶中有高压馬达，那么究竟采用6千伏还是10千伏，需要由技术經济比較来决定。影响选擇哪一种电压最重要的因素是高压馬达的比重，根据一些典型情况，对于不同的高压馬达的比重，不同的負荷我們估出3、6千伏电压的經济供电范圍，如表5-3所示。

表5-3　在有高压馬达时6千伏电压的經济供电范圍

高压馬达占地区总負荷的比重（%）	地区总負荷（瓩）	
	500～2000	2000～4000
20	4～6公里以內	3～5公里以內
30	6～8公里以內	4～7公里以內
40	10公里以內	8公里以內
40以上	15公里以內	15公里以內

影响选擇电压的因素很多，上表数值可能有变化，因此只在估算时作参考。

同样道理，对于380伏及220伏二种电压，应該采用380伏电压作为三相动力用戶的电压。

（3）3千伏电压的供电距离太近，在当前我国农村情况下，一般不宜采用作为配电网的电压。但是，当用戶具有3千伏高压馬达时，可在用戶变电所中采用。

（4）在一个地区的电力网內，60千伏与35千伏电压之間，10千伏与6千伏电压之間，如果没有特殊理由，最好只采用其中一种电压。

例：某地拟建一大型排灌站，电力負荷为700瓩$\cos\varphi=0.7$，年最大負荷利用小时数为1000小时，排灌站距离最近的35千伏变电站約5公里，35千伏变电站現有一台1000千伏安变压器，其接綫如图5-1所示。該排灌站馬达电压为380伏，没有装2台变压器供电的要求。試求是扩建現有35千伏变电站以10千伏供电好？还是在排灌站旁边建設35千伏变电站直接降压380伏供电好？

（1）根据負荷要求拟定的方案接綫，如图5-2、5-3所示（只画出两方案的不同部分）。

35千伏
35/10千伏
1000千伏安
10千伏

图 5-1

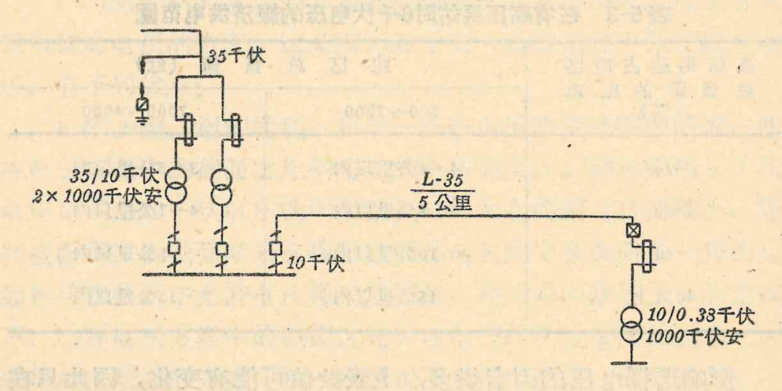


图5-2

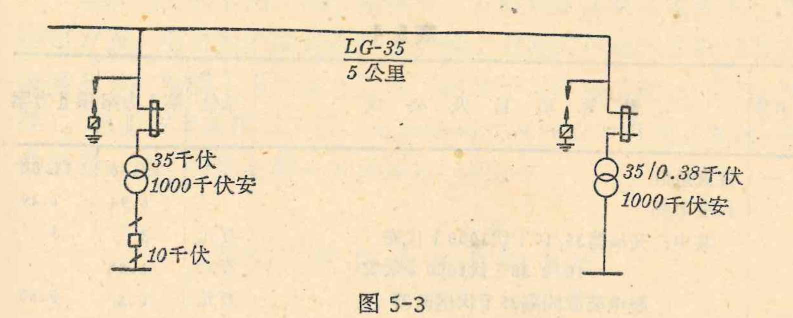


图 5-3

第Ⅰ方案：在原有35千伏变电站中，扩建一台1000千伏安变压器（35/10千伏），以10千伏供电。

第Ⅱ方案：在用戶附近建35千伏/0.38千伏变电站，直接以380伏供电。

（2）設备选擇：負荷为700瓩，$\cos\varphi=0.7$，視在容量为1000千伏安，所以用戶变电站的变压器，选用一台1000千伏安，在第Ⅰ方案的現有变电站中，暫按扩建一台1000千伏安35/10千伏的变压器来考虑（如有可能，亦可将現在的一台变压器調走，而换一台2400千伏安的变压器）。

綫路的导綫截面按經济电流密度（2安/毫米²）来选擇，第Ⅰ方案的10千伏綫路导綫选用L-35号导綫。第Ⅱ方案的35千伏綫路导綫，按經济电流密度（2安/毫米²）計算，其經济截面只有8毫米²，但35千伏所采用的鋼心鋁綫最小号导綫为LG-35，所以选用LG-35号导綫。

35千伏变压器高压側采用熔断保險器和刀閘；低压側选用油开关；10千伏变压器高压側选用負荷开关和熔断保險器。

（3）計算表明，两方案的电压质量均能滿足要求（第Ⅰ方案10千伏供电电压降只有6.5%，第Ⅱ方案35千伏供电电压降較小）。供电可靠性方面，两方案差不多，亦都能滿足要求。

（4）两方案的經济計算

計算中所采用的綜合投資指标，系本手册第二章所推荐的数值，見表5-4。

表 5-4

序号	計 算 項 目 及 公 式	单位	第Ⅰ方案	第Ⅱ方案
一	投資总計		11.88	11.82
	1.变电站		6.94	7.29
	其中：变压器35/10千伏1000千伏安	万元	3	3
	10/0.38千伏1000千伏安	万元	1.88	
	配电装置間隔35千伏熔断器	万元	0.6	0.60
	10千伏油开关	万元	0.94	
	10千伏熔断器，負荷开关	万元	0.24	
	固定費用	万元		2.81
	其他費用(电压互感器、避雷器)	万元	0.28	0.88
	2.綫路：35千伏，5公里，LG-35	万元		3.9
	10千伏，5公里，L-35	万元	2.66	
	3.有功損失补偿投資	万元	2.28	0.63
	$Z_b=x_{t.sh}\cdot\Delta P_{w.s}\cdot z_{f.d}$			
	式中 $x_{t.sh}$——农村負荷对系統負荷的同时率		0.5	0.5
	$\Delta P_{w.s}$——网損包括：变压器	瓩	37.5	19
	綫 路	瓩	45.5	3.72
	$z_{f.d}$——单位瓩投資	元/瓩	550	550
二	年运行費	万元	1.29	1.20
	1.变电站折旧維护費			
	$F_{b.d}=x_{zh.j}\cdot Z_{b.d}$	万元	0.77	0.81
	式中 $x_{zh.j}$——折旧維护率	%	11	11
	$Z_{b.d}$——变电站总投資	万元	6.98	7.33
	2.綫路折旧維护費			
	$F_{x.l}=x_{zh.j}\cdot Z_{x.l}$	万元	0.17	0.24
	式中 $x_{zh.j}$——折旧維护率	%	6.2	5.4
	$Z_{x.l}$——綫路投資	万元	2.66	4.5
	3.电能損失費			
	$F_{w.s}=[(\Delta P_{x.l}+\Delta P_{d.l})\tau+8000\Delta P_{k.z}]B_{d.n}\cdot 10^{-6}$	万元	0.35	0.15
	式中 $\Delta P_{x.l}$——綫路有功損失	瓩	45.5	3.72
	$\Delta P_{d.l}$——变压器短路損失	瓩	28	14
	$\Delta P_{k.z}$——变压器空載損失	瓩	9.5	5
	τ——損耗时間	小时	550	550
	$B_{d.n}$——电能成本	分/度	3	3

从以上比較看出，两方案在技术方面均能满足供电要求，在經济方面，两方案的投資差不多。第Ⅰ方案的年运行費較第Ⅱ方案多8%，电能損失約多7万度（相当于每年多消耗60多吨原煤）。第Ⅱ方案采用35千伏，电压較高对发展較为有利。因此，总的来看，第Ⅱ方案比第一方案要好一些。

5-3 农村变电所的布局

变电所的布局对电力网的結綫影响很大，合理的布局需要根据具体情况，通过技术經济比較来决定。根据以往的經驗，在作农村供电规划时，对变电所的布局应該注意下列几点。

1.变电所的位置应尽可能布置在靠近負荷中心

变电所靠近負荷中心，就可以节約变电所二次側电力綫路的距离，减少导綫截面，节約投資和电能損失。例如某地区的負荷分布，如图5-4所示。

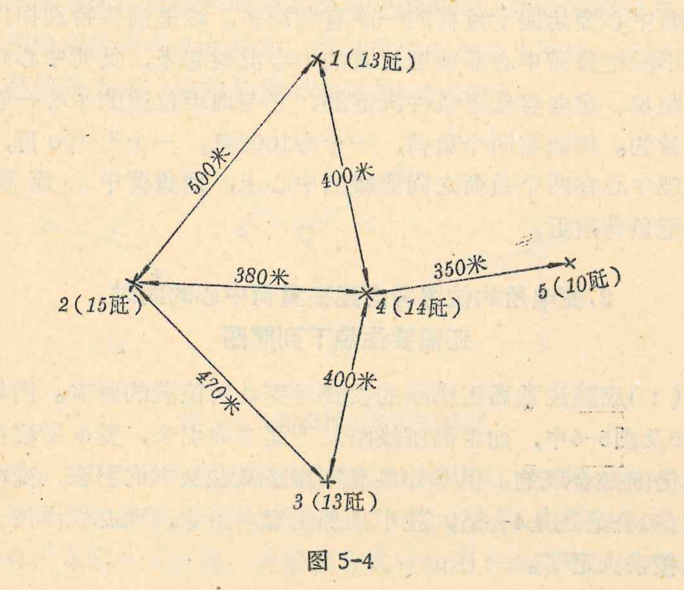


图 5-4

該变电所的位置在 2 或 4，相应的接綫图如图5-5和图5-6所示（导綫截面按电压降不超过 6 %进行选擇）。

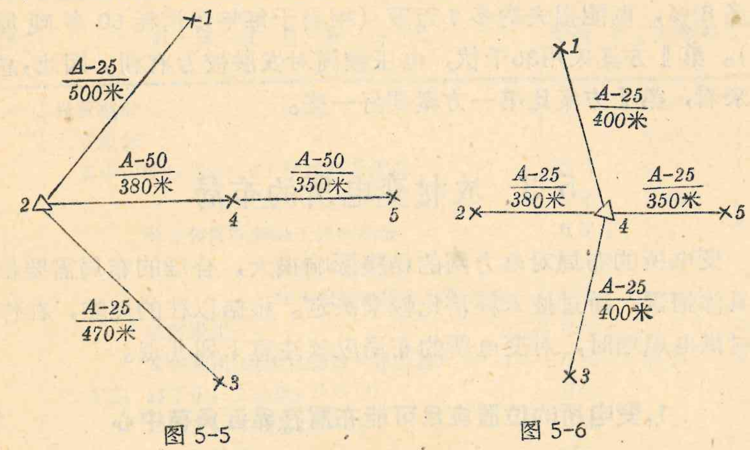


图 5-5　　图 5-6

在图5-5的結綫图中，綫路长度共1700米，需用鋁135公斤。但在图 5-6 中，綫路长度为1530米，需用鋁 104 公斤。从电能損失来看，显然后者也要少損失一些。由此可以看出，把变电所放在負荷中心要比偏于負荷的一隅有利得多。这里需要特别指出的是，不能把負荷中心和地理位置的中心混淆起来，負荷中心是由送电距离、送电容量等条件决定的，它与地理位置的中心一般是不一致的。例如有两个負荷，一个为1000瓩，一个为 100 瓩，显然地理中心在两个負荷之間連綫的中心上，而負荷中心应該在1000瓩負荷附近。

2.变电所的位置考慮建在負荷中心的同时，还需要注意下列問題

（1）应該注意高压綫路的投資对变电所位置的影响。例如在图5-5及图5-6中，如果高压綫路从下面方向引来，变电所建在4，显然仍旧是合理的。但是如果高压綫路从左边方向引来，变电所是建在2合适还是4合适，就不是那么容易断定，而必須由技术經济比較来决定了。

（2）主要供电对象为排灌站的 6～10 千伏变压器，最好設置在邻近負荷中心的一个排灌站，这对运行維护工作会带来很多的方便。

（3）变电所的位置除了必須从整个系統加以研究外，还必須考慮建造变电所的具体条件，例如地形、地質、交通和預防洪水淹沒等条件。

3.尽可能将不同类型的用戶接在一个变电所內，提高变压器的利用率

特别在有排有灌地区，最好将排灌負荷組合在一个变电所中，节約变压器的容量。

5-4　农村电力网的接綫方式

农村电力网的結綫应力求簡单可靠，操作方便和节約投資。放射形接綫就是滿足这些要求的接綫方式。它的缺点是綫路发生故障或檢修时，就要暂时停止对用戶的供电。但是对农村用戶来讲，短时間的停电是允許的。所以目前农村电力网中，广泛采用了这种接綫方式，它的具体形式見图5-7至5-9。

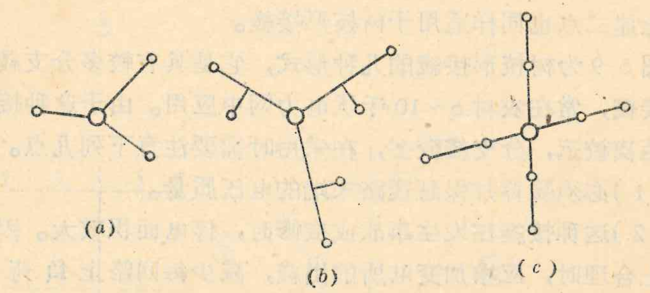


图 5-7　最簡单的放射形接綫

图5-7是最簡单的放射形接綫，在380伏和35千伏农村电力网中应用得比較普遍。至于农村6～10千伏电力网，由于每条綫上常常接有很多配电变压器，其接綫方式常如图 5-8 和图 5-9 所示。

(*a*)

(*b*)

图 5-8　鏈形接綫

图 5-8 称为鏈形接綫，当負荷点沿一条綫分布时，就可以采用这种接綫。其中接綫 *a*)中，綫路必須断开后才接入每个变电所，增加了費用，在380～10千伏綫路上，不推荐采用这种接綫，而应采用 *b*)的接綫方式，在采用图5-8中 *b*)接綫时，如果分支数目过多，綫路延伸过长，为了提高这种接綫的可靠性，縮小故障范圍和便于檢修，需要注意下列二点：

（1）对于35～60千伏干綫上，分支点一般不应超过5个，如超过此数，应在每3～5个支接点后装設开关装置(油开关，熔断器或隔离开关)。接綫图如图5-10所示。

（2）对6～10千伏电力綫路应照顾維护檢修方便，适当分段，在分段处装置开关設备(負荷开关，熔断器，隔离开关等)。

上述二点也同样适用于树枝形接綫。

图 5-9 为树枝形接綫的几种形式，它是具有較多分支綫的放射形接綫，常在农村 6～10 千伏电力网中应用。由于这种接綫的送电距离較远，分支綫較多，在采用时需要注意下列几点。

（1）必須驗算并保証綫路末端的电压质量。

（2）这种接綫在发生事故或檢修时，停电面积較大。因此在經济上合理时，应增加变电所的出綫，減少每回路上負荷的数目。

（3）点与点、点与綫之間的連接要考虑下列几个因素：

1)連結綫的距离要短；

2)点与供电点之間的电气距离要短；

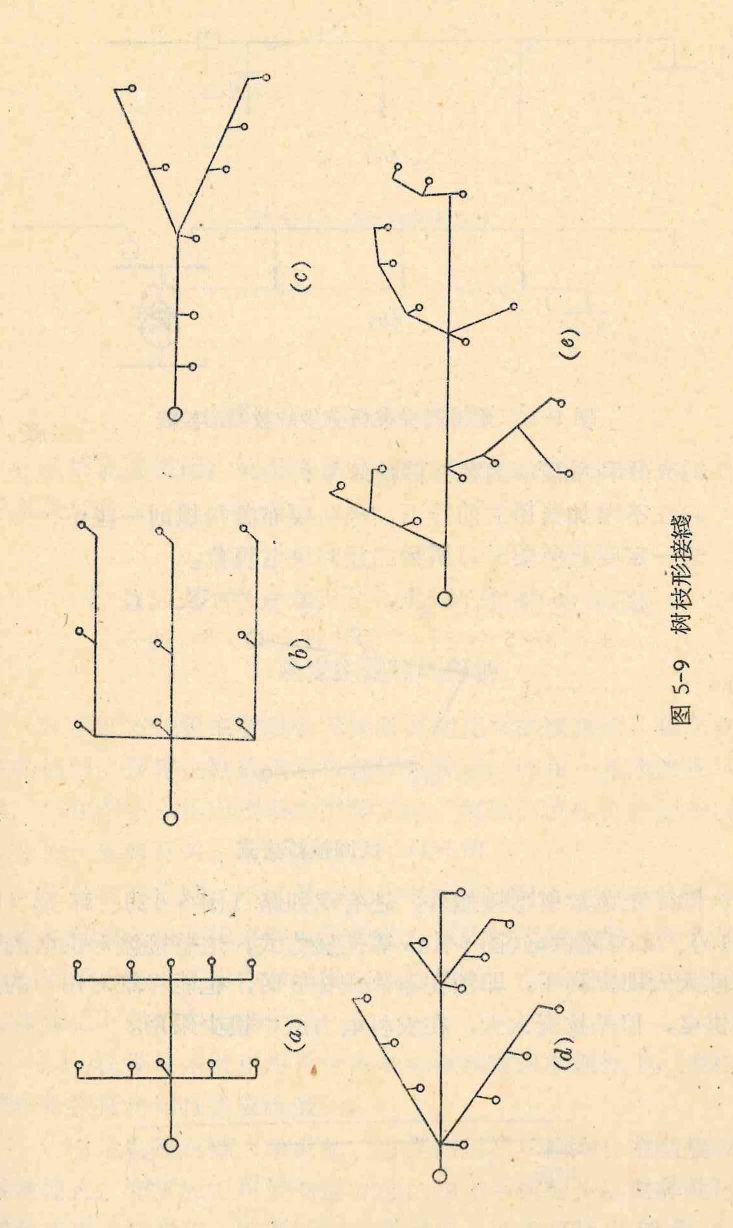


图 5-9　树枝形接綫

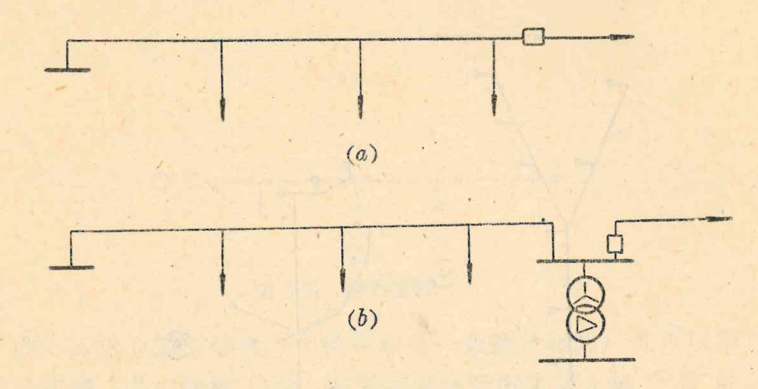


图 5-10 利用开关装置分段的放射形接綫

3)充分利用綫路的經济傳輸容量；

4)在不增加費用的前提下，綫路要布置得規則一些；

5)一定要避免图5-11所示的迂回供电现象。

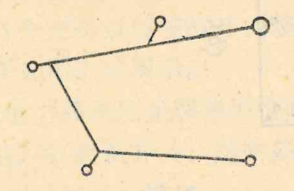


图 5-11 迂回接綫方式

除了上述放射形接綫外，还有双回路（图 5-12）、环形（图 5-13）、和二端供电（图 5-14）等接綫方式，这些接綫对供电的可靠性大大地提高了，即使在事故或檢修时，也能保証对用戶的連續供电，但是投資太大，在农村电力网中很少采用。

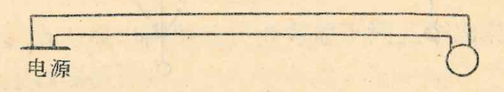


图 5-12 双回路接綫方式

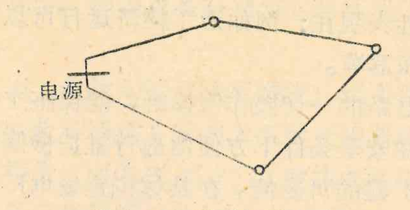


图 5-13 环形接綫方式

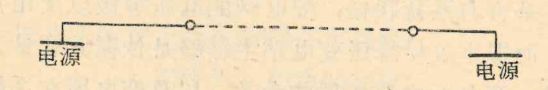


图 5-14 二端供电接綫方式

最后需要指出，究竟采用哪种接綫方式，需要由技术經济分析来决定。

5-5 农村发电厂和变电所的主結綫

1.确定主結綫的原則

表示电力装置主要設备元件及其相互間的联結图，称为电气主結綫图。通常主結綫采用单綫图来表示，即用一条綫来表示三相，并在图中只示出設备的主要元件，例如：发电机、变压器、油开关、隔离开关、熔断器等。

主結綫的拟定，不仅是作为供电規划設計、进行电气計算、选擇电气設备以及拟定配电装置的布置安装等的依据，而且是作为以后运行中一切操作和倒換电路的依据。所以主結綫的拟定，应該滿足下列基本要求：

（1）在滿足系統和用戶对供电可靠性要求的前提下，主結綫的設备投資和运行費应該最少。

（2）主結綫应該力求簡单、方便和灵活，例如：主結綫应該尽量簡化，布置应尽可能明显对称，操作手續要少。这样就可以避免或減少誤操作，提高运行的可靠性，处理事故也能簡单迅

速。結綫的灵活性表現在：例如为了經济运行可以方便地投入或切除某机組或变压器等。

（3）在进行电路的一切操作倒换时，能保証工作人員和設备的安全，以及能在安全条件下方便地进行維护檢修工作。

（4）应具有扩建的可能性。在具体拟定发电厂主結綫时，应該从下列几方面入手，例如：电厂容量的大小，机組的数目，电厂的型式，是否与系統联結，配电网的电压等级以及用戶的性质与分布等。而拟定农村降压变电站主結綫是依据其容量大小，配电綫的数目，变电所中变压器的台数，以及变电所在系統中的位置来确定。

2.确定农村发电厂和变电所中主接綫的几点意見

由于农业用电对供电連續性的要求不象工业那样严格，因此农村电厂与变电所的主結綫相对来說，更应該力求簡单經济。現提出下列几点意見以供参考。

（1）农村电厂和变电所适于采用单母綫或单母綫分段（母綫分段用于两台以上机組或变压器），通常不采用双母綫或其他复杂的結綫。

（2）簡化配电装置的設备，避免采用貴重的开关設备，以降低造价。

对低压出綫，当負荷不大时，可装設熔断器和刀閘来代替自动空气开关。

对于高压装置，应尽量采用跌落式熔断器負荷开关与熔断器的組合或隔离开关和熔断器来代替貴重的油开关。

1)对电压在10千伏及以下的引出綫，当綫路的負荷电流在15安培以下时，可以采用隔离开关与熔断器的組合（或用跌落式熔断器）来代替油开关。在这种情况下隔离开关作为操作电器，必須采用戶外三联隔离开关。如果負荷电流大于15安培，可采用負荷开关与熔断器的組合来代替油开关。只有当綫路倒换操作频繁、綫路所带負荷較大、用戶要求較高的供电可靠性，或者在雷

电活动厉害的地区，需采用重合閘装置等情况下，才采用油开关装置。

2)根据电力工业技术管理法规規定：使用屋外三联隔离开关可以开合励磁电流不超过2安的无負荷变压器和电容电流不超过5安的无負荷綫路，因此在35～110千伏电网中，只在下列情况下才能使用屋外三联隔离开关（或加熔断器）来代替油开关进行操作：

用来操作不超过下列长度的空載綫路：

35千伏，約为85公里，

60千伏，約为50公里，

110千伏，約为25公里；

用来操作不超过下列容量的空載变压器：

35千伏，2400千伏安，

60千伏，4200千伏安，

110千伏，10000千伏安。

除了綫路上沒有T接的終端变电所可以只用隔离开关（有时需加人工接地刀閘）来代替油开关外，在其他情况下須用隔离开关与保險器組合来代替油开关。

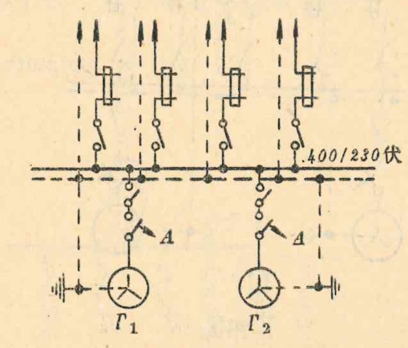


图 5-15

1.本图为具有两台发电机电压为400/230伏孤立运行发电厂的主結綫图，其容量在100～200千伏安以内。

2.单母綫也可用隔离开关或刀閘分段。图中虛綫表示中性綫，A表示A型自动空气开关。

3)用熔断器来代替油开关是节約变电所造价的最重要方法，在符合1)、2)条件时，应尽可能采用。不过使用熔断器后，应保証电力网发生故障时有选擇性地断开故障元件。不能滿足上述条件及熔断器的容量不能滿足要求时，应采用油开关。

根据以上原则，提出几种基本結綫图，如图5-15至5-21所示。

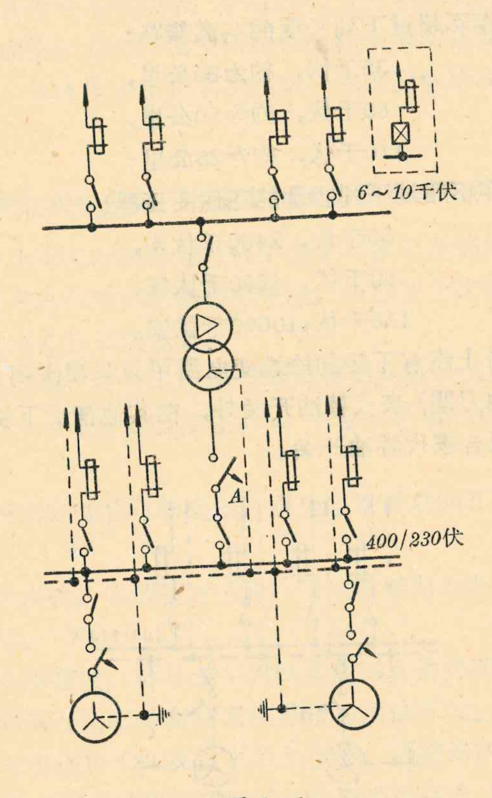


图 5-16

1.本图为具有两台低压发电机和一台升压变压器发电厂主結綫，发电厂容量在200～500千伏安。

2.当变压器容量小于180千伏安时，变压器与低压母綫之間的A型自动空气开关可改用熔断器代替。

3. 6～10千伏出綫应采用哪种开关設备，可根据本节2中所述原則决定。

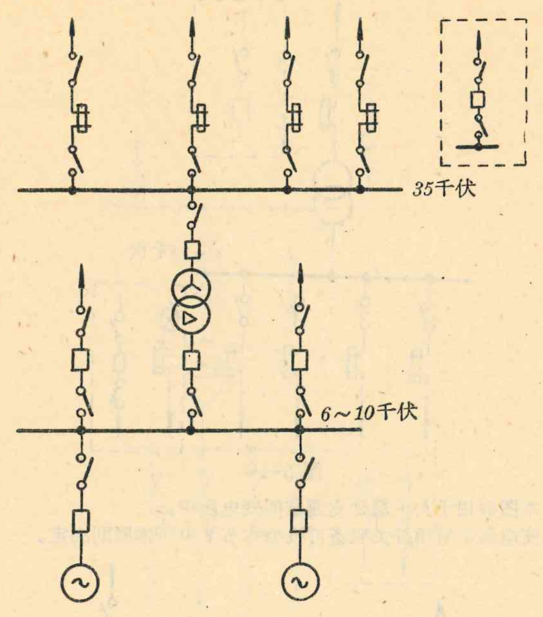


图 5-17

說明：1.本图适用于农村較大型发电厂，特别是較大型农村水电厂。
2.35千伏的出綫上究竟采用哪种开关設备可根据本节2中原則决定。
3.6～10千伏母綫可考虑用隔离开关或油开关分段。
4.如果是孤立电厂，可以不装設变压器高压側开关。

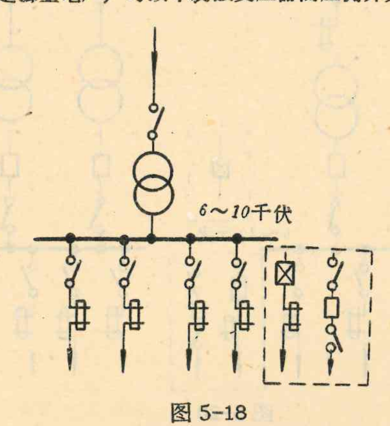


图 5-18

說明：1.本图为适用于綫路上不带 T 接的終端变电所。
2.变电所二次側出綫选用哪种开关設备可根据本节2中所述原則决定。

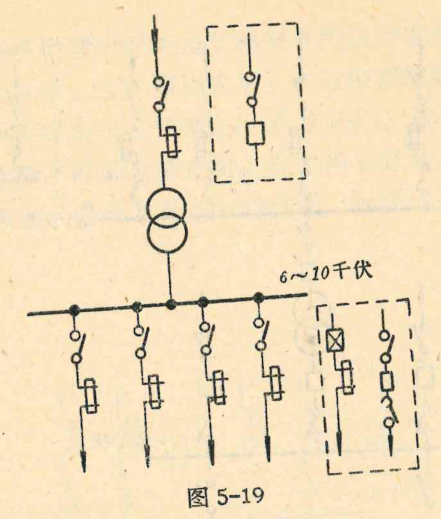


图 5-19

說明：1.本图适用于与干綫分支連結的变电所中。
2.变电所中所用开关設备可根据本节 2 中所述原則决定。

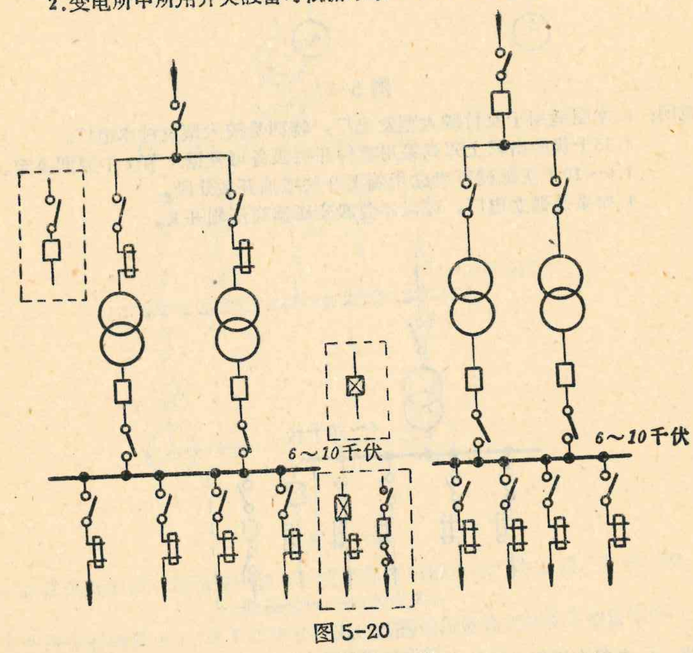


图 5-20

說明：1.本图适用于有二台变压器的变电所內。
2.采用何种开关設备可根据本节 2 中所述原則决定。

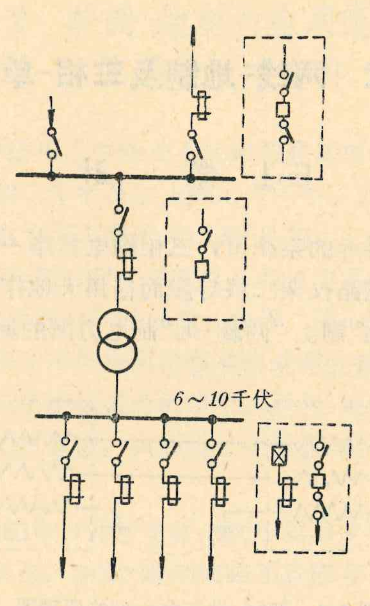


图 5-21

說明：1.本图适用有功率穿过母綫的变电所中。
2.如果进出綫二端都有电源，則进綫側也应有油开关。
3.开关設备的选擇可根据本节 2 中原則决定。

第六章　两线-地制及三相-单相制

6-1 概　　述

在中性点不接地的系統里，三相輸电綫路一般架有三根导綫。若三相輸电綫路仅架二根导綫而借用大地作第三根导綫，即組成所謂"两綫-地"制。"两綫-地"制电力网的原理图見图 6-1。

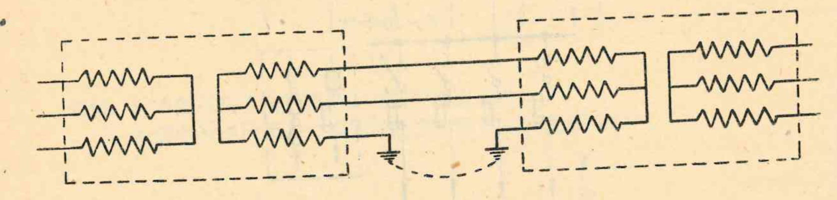


图 6-1　两綫-地制电力网的原理图

当电力綫路按两綫-地制建設时，导綫材料消耗量减少了三分之一，由于架空导綫数目的减少．杆塔材料消耗、綫路絕緣子及其他金具亦将减少。变电所的某些設备如隔离开关、熔断器等也可以作成两极的，所有这些都可节約投資和原材料消耗。同时，由于三相电流中一相电流在大地中流过，这样使綫路中功率損失减少了25～30%。

上述优点如此显著，故現在我国許多农村电力网广泛地采用两綫-地制。

采用两綫-地制，对通訊綫路的影响是非常重要的問題。因为利用大地作为导綫时，地中电流不但在故障时可以流通，在正常情况下也能流通，其影响比在普通三相綫路內大得很多。因此，規划和設計两綫-地制的綫路，必須考虑对通訊干扰的影响。在大城市近郊、鉄路干綫附近及居民稠密地区，使用两綫-地制时須特別愼重。

6-2 两綫-地制的应用范圍及使用的技术条件

两綫-地制适用于中性点不接地的高压电力网中，即电压在35千伏及以下和 3 千伏及以上的电力网中。为了运行安全，1000伏以下的低压电力网不能应用两綫-地制。

两綫-地制可同时应用多級电压的电力网中，例如，在 35 千伏及 10 千伏电力网中同时应用。由于二綫-地制中电力网的一相和大地相連，因此不能利用消弧綫圈来消除接地电弧电流。

受旋轉电机的絕緣条件的限制，两綫-地制輸电綫不能直接与发电机或电动机連接，只能經过变压器与发电机或电动机連接。

两綫-地制的电力网只有經过变压器后才可与三导綫的电力网連接。为了安全，两綫-地制綫路不容許与 380 伏綫路同杆悬挂。

当接地短路电流大，土壤阻抗大，綫路距离短，接地装置的費用超过节省一根导綫的費用时，应用两綫-地制就不合算了。当两綫-地制电力网对通訊及信号綫路的影响超过容許限度时，两綫-地制的应用也就受到限制。

6-3 两綫-地制电力网的电气計算

两綫-地制电力网的电压損失与三根导綫的电力网一样計算。对于两綫-地制的架空导綫內的电压損失值可按普通的公式来計算，以綫电压表示时：

$$\Delta U_{d.x}=\sqrt{3}\,Il(r\cos\varphi+x\sin\varphi)\text{伏},\qquad(6\text{-}1)$$

式中　r及x——导綫的电阻及电抗，(欧/公里)；

I——流經导綫的負荷电流，(安)。

大地一相內的电压損失值，以綫电压表示，可用下列公式确

定:

$$\Delta U_d=\sqrt{3}\,Il(r_d\cos\varphi+x_d\sin\varphi), \qquad (6\text{-}2)$$

式中

$$r_d=\frac{1}{3}(r+2r_d'); \qquad (6\text{-}3)$$

r_d'——电流在地中經过路徑的电阻，可取 $r_d'=0.05$ 欧/公里；

$$x_d=\frac{1}{3}(x+2x_d'), \qquad (6\text{-}4)$$

x_d'——大地的电抗，对于普通土质而言，$x_d'=0.36\sim0.5$欧/公里。

平均起来，我們取 $x_d'=0.43$欧/公里。

在接地相电压损失的計算中，还有接地的电压损失，但一般很小，可以忽略不計，在必要的情况下，可按下式計算:

$$\Delta U_{j.d}=\sqrt{3}\,I\,\frac{2}{3}R_{j.d}=1.16IR_{j.d}, \qquad (6\text{-}5)$$

式中 $R_{j.d}$——接地相接地装置的电阻，(欧)；

I——經过接地装置的負荷电流，(安)。

由于地相每公里的电抗值和架空綫相差不多，而其电阻值則在一般情况都小于架空綫。从(6-3)、(6-4)及(6-2)的公式中我們可以看出，在絕大多数情况下，地相內的电压损失比架空导綫內的值为小。由于这个原因，綫路末端的各綫电压值略有不同。虽然如此，当綫路中容許的电压损失值在10%以下时，电压的不均等并不超过3～4%的限度，这在运行上是完全可以容許的。

因此，两綫-地制綫路的电压损失的計算，可按普通的架空三綫制来进行，不必計算地相內的电压损失值。

例：試决定两綫-地制綫路內的电压损失值，綫路长度 $l=13$ 公里，电压 $U=10$千伏，輸送功率 $W=260$千伏安，$\cos\varphi=0.8$，鋁綫标号为 L-16。

根据第七章架空綫路参数表查得，导綫間距离 $D_{cp}=1000$ 毫米时，架空导綫 $x_0=0.377$欧/公里，A-25鋁导綫 $r_0=1.96$欧/公里，假定三相負荷电流是均衡的，可得

$$I=\frac{W}{\sqrt{3}\,U}=\frac{260}{\sqrt{3}\times10}=15\text{安}.$$

此时架空导綫內的电压损失为 (代入 6-1):

$$\Delta U_{d.x}=\sqrt{3}\times15\times13(1.96\times0.8+0.391\times0.6)$$

$$=606\text{伏，即}6.06\%.$$

地相內的电压损失:

当 $r_d'=0.05$欧/公里时，地相內单位长度的电阻根据公式(6-3)为:

$$r_d=\frac{1}{3}(r+2r_d')=\frac{1}{3}(1.96+2\times0.05)$$

$$=0.687\text{欧/公里}.$$

当 $x_d'=0.43$ 欧/公里时，地相內单位长度的电抗，根据公式(6-4)为:

$$x_d=\frac{1}{3}(x+2x_d')=\frac{1}{3}(0.391+2\times0.43)$$

$$=0.417\text{欧/公里}.$$

根据公式(6-2)，地相內电压损失为:

$$\Delta U_d=\sqrt{3}\times15\times13(0.687\times0.8+0.417\times0.6)$$

$$=271\text{伏，即}2.71\%.$$

6-4 两綫-地制电力网的接地装置

在两綫-地制电力网中，把接地相用单独的接地綫接到变电所公共的接地装置上。接地相的接地綫应接在电力变压器的引出端上，若在接地相中装了电流互感器，則应按图 6-2 在电流互感器后接地。

在两綫-地制电力网中，选擇接地装置的接地电阻应滿足在正常情况下及在故障情况下的要求。

(1)在正常情况下，接地装置的对地电压不应超过50伏，因此接地装置的接地电阻应为

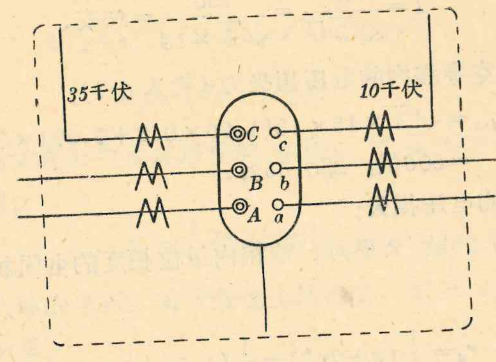


图 6-2 在电流互感器后接地

$$R \leqslant \frac{50}{I}, \quad (6\text{-}6)$$

式中 I——經过接地体的最大負荷电流。

(2)在故障情况下，所有电力网可分成大短路电流接地的电力网及小短路电流接地的电力网。凡是两相短路接地的稳态电流值超过 500 安的电力网，叫做大短路电流接地的电力网，而等于或小于 500 安的則叫做小短路电流接地的电力网。

在两綫-地制电力网中变电所的容量，如表6-1所示时，短路接地电流小于 500 安。

表 6-1 短路接地电流小于500安的变电所的容量

变电站种类	电力网电压(千伏)		
	6	10	35
农村电站的升压变电所	1800	3200	10000
地区电力系統供电的降压变电所	320	560	1800

1)在两綫-地制电力网中，具有大短路接地电流(大于500安)的变电所中，接地电阻不应超过 0.5 欧；

2)在两綫-地制电力网中，具有小短路接地电流(小于500安)的变电所中，接地电阻用下述的电流进行計算。該电流 i 等于由于相間短路继电保护的起动电流，或熔断器的熔断电流。继电保护的起动电流取为 1.5 倍整定电流，而熔断器的熔断电流取为熔絲額定电流的 3 倍。接地电阻应为

$$R \leqslant \frac{125}{i}.$$

当接地体不接低压設备的中性綫时，接地电阻应为

$$R \leqslant \frac{250}{i}.$$

根据380/220伏装置的工作条件，对于6～10～35/0.4千伏的降压变电所，当变压器容量小于 100 千伏安时，接地电阻不应超过10欧，而当变压器容量大于 100 千伏安时，接地电阻不应超过 4 欧。

(3)考虑了对正常情况及故障情况的要求，在小短路电流接地的电力网中，二次电压为 0.4 千伏的降压变电所的接地电阻值示于表6-2。

表 6-2 小短路接地电流电力网中的接地电阻

降压变电所的容量(千伏安)小于	接地电阻(欧) 两綫-地制綫路的电压(千伏)		
	6	10	35
50	10	10	10
70	7.4	10	10
100	5.2	8.7	10
180	2.9	4.0	4
240	2.2	3.7	4
320	1.6	2.7	4
560	0.93	1.5	4

6-5 两綫-地制电力网对通訊綫路的干扰影响

当两綫-地制綫路的一段能对通訊綫路发生影响时，該段就叫做接近段。当平行接近时，通訊綫路与两綫-地制綫路之間的

距离叫做接近宽度 a。当偏斜接近时，接近宽度等于接近段始端的距离 a_1 及終端的距离 a_2 的几何平均值，即 $a=\sqrt{a_1a_2}$。

1. 对双綫电話綫路的干扰影响

(1)对于无中間放大器的通訊綫路，沿35千伏电压的两綫-地制綫路容許的接近段的长度为：

当接近寬度 $a\geqslant 100$ 米时，30公里；

当接近寬度 $a\geqslant 50$ 米时，10公里。

(2)对于无中間放大器的通訊綫路，沿10千伏电压的两綫-地制綫路容許的接近段的长度为：

当接近寬度 $a\geqslant 30$ 米(无交叉)时，10公里；

当接近寬度 $a\geqslant 50$ 米(考虑2～3个交叉)时，10公里。

2. 对单綫电話綫路的干扰影响

可用表6-3查得容許的接近寬度。

表6-3　单綫电話綫路与两綫-地制綫路之間容許的接近寬度

两綫-地制綫路的电压(千伏)	接近寬度(米) 接近段的长度(公里)小于 10	5	1
6	200	140	65
10	250	180	80
20	400	250	120
35	500	350	150

这里只介紹了如何估計两綫-地制綫路对通訊綫路的干扰影响，当发現接近段的长度或接近寬度超过容許值时，应进行精确的計算。

在輸电綫的始端或終端附近有較多的通訊綫路时，如在市鎮附近，将接地相的接地装置移至市鎮以外接地，而在通訊綫路密集处的輸电綫仍按三綫架設，能减少对通訊綫路的影响。当然，这种措施应与全綫三綫制进行經济比較。

6-6　三相-单相制

在电力网6～10千伏綫路上，将所有大用戶包括动力用戶在內都接到三相上，而所有其余小用戶——首先是照明及家庭用电器具，則由单相分支綫路通过容量不大的单相变压器供电，此种供电方式称为三相-单相混合制，如图6-3所示。

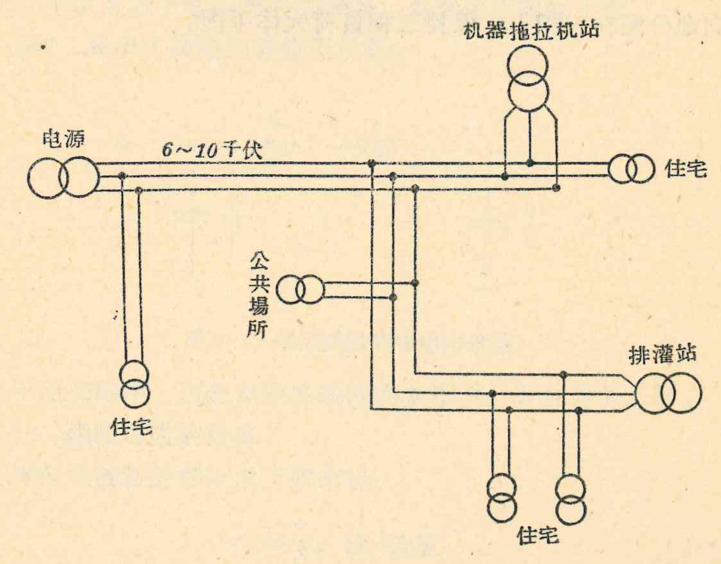


图6-3　三相-单相混合网路示例

对于負荷密度不大、大小电力用戶很分散的农业区，采用这种三相-单相制供电是有利的。因为它不但节省了高压綫路的造价，而且也减少了低压网絡里的导綫消耗量。据苏联电力工作者的一些計算表明：在某些情况下，采用混合制可使高低压网絡內的导綫消耗量减少40～50%，同时供电成本与普通三相制相比

較，可降低15～25%。因此这种接綫有推广价值。

在农村电力系統中，三相-单相混合制中单相負荷的分布，应使由农村发电厂或变电所引出的饋电綫各相的負荷不平衡率不超过20%。

$$P\% = \frac{i_{z.d} - i_{p.j}}{i_{p.j}} \times 100, \tag{6-7}$$

式中 $P\%$——各相負荷不平衡率；

$i_{z.d}$——三相中最大一相电流；

$i_{p.j}$——三相平均电流。

因此，在設計三相-单相混合制的网絡时，应将单相負荷大致均匀地分配在三相上，保持三相負荷大体平衡。

第七章 农村电力网的电气計算

7-1 架空綫路和变压器电气参数的計算

1.架空綫路的电气参数

在进行电力网的計算时，架空綫路用电阻R，电抗X（指总电抗）和电納B（指容納）来代表。一般計算时不考虑綫路的电导，对于35千伏及以下电压等級的綫路，电納可以忽略不計。

图7-1表示了綫路的等值阻抗图。

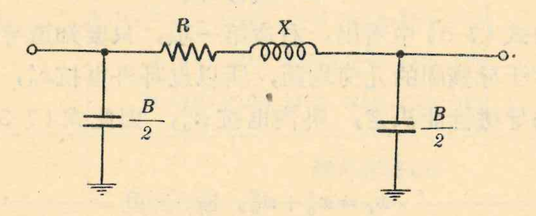


图 7-1 架空綫路的等值阻抗图

下面介紹中、短距离架空綫路的参数R、X和B的計算。

（1）綫路电阻的計算

每公里綫路的电阻由下式求得：

$$r_0 = \frac{\rho}{S}, \text{ 欧/公里} \tag{7-1}$$

式中 ρ——綫路的計算电阻率，（欧-毫米²/公里）；

銅綫的电阻率ρ为 18.8 欧-毫米²/公里；

鋁綫的計算电阻率为 31.5 欧-毫米²/公里；

S——导綫的标准截面积，（毫米²）。

长度为 l 公里的导綫电阻为

$$R = r_0 l, \text{ 欧} \tag{7-2}$$

鋼导綫的电阻随电流大小而变化，它没有恆定的电阻率，不能用公式(7-1)求得。一般是通过实驗測出来的。如表7-5所示。

鋁和鋼导綫的电阻r_0可从表7-1，表7-2查出。

(2)綫路的电抗

如果交流电的周率为50赫，每公里綫路的电抗可由下式求得：

$$x_0 = 0.144 \lg \frac{2D_{p.j}}{d} + 0.157\mu, \text{ 欧/公里} \qquad (7\text{-}3)$$

式中 $D_{p.j}$——导綫間的几何平均距离，(毫米)；

d——导綫的外直徑，(毫米)；

μ——导綫的相对导磁率。

长度为 l 公里的电抗为：

$$x = x_0 l, \text{ 欧} \qquad (7\text{-}4)$$

从公式(7-3)中看出，右边第一項，只要知道导綫型号，其数值决定于导綫間的几何均距，所以也叫外电抗x_0'，第二項由导綫本身的导磁性能决定，叫內电抗x_0''，因此式(7-3)又可表示为：

$$x_0 = x_0' + x_0'', \text{ 欧/公里} \qquad (7\text{-}5)$$

外电抗x_0'可从表7-1，表7-2和表7-3中查得。

导綫間的几何均距由下式决定：

$$D_{p.j} = \sqrt[3]{D_{12} D_{23} D_{13}}, \text{ 毫米} \qquad (7\text{-}6)$$

D_{12}，D_{23}，D_{13}为导綫1—2，2—3，1—3之間距离，单位为毫米。

当导綫为水平等距排列时，若中綫与边綫的距离为D，导綫的几何均距为：

$$\sqrt[3]{DD2D} = 1.26D \qquad (7\text{-}7)$$

对于銅綫和鋁綫而言，相对导磁率$\mu = 1$，导綫的內电抗对外电抗来讲是很小的。但是，鋼导綫的导磁率很大，并与通过的电流有很大的关系，經过实驗測得的內电抗的数据如表7-4。

(3)导綫的电納

表7-1 架空鋁綫及鋼芯鋁綫的电阻和电抗值

截面(毫米^2)	16	25	35	50	70	95	120	150	185	200
电阻r_0(欧/公里)	1.96	1.27	0.91	0.63	0.45	0.33	0.27	0.21	0.17	0.13
	电抗値 x_0 (欧/公里)									
	鋁 綫 L									
計算直徑(毫米) / 几何均距(米)	5.1	6.3	7.5	9.0	10.6	12.4	14.0			
0.6	0.358	0.345	0.336	0.325	0.315	0.303	0.297			
0.8	0.377	0.363	0.352	0.341	0.331	0.319	0.313			
1.0	0.391	0.377	0.366	0.355	0.345	0.334	0.327			
1.25	0.405	0.391	0.380	0.369	0.359	0.347	0.341			
1.5		0.402	0.391	0.380	0.370	0.358	0.352			
2.0		0.421	0.410	0.389	0.388	0.377	0.371			
	鋼芯鋁綫LG									
計算直徑(毫米) / 几何均距(米)			8.3	9.9	11.7	13.9	15.3	17.0	19.1	21.5
2.0			0.403	0.392	0.382	0.371	0.365	0.358		
2.5			0.417	0.406	0.396	0.385	0.379	0.372	0.365	0.357
3.0			0.429	0.418	0.408	0.397	0.391	0.384	0.377	0.369
3.5			0.438	0.427	0.417	0.406	0.400	0.398	0.386	0.378
4.0			0.446	0.435	0.425	0.414	0.408	0.401	0.394	0.386
4.5					0.433	0.422	0.416	0.409	0.402	0.394
5.0					0.440	0.429	0.423	0.416	0.409	0.401
5.5					0.446	0.435	0.429	0.422	0.415	0.407
6.0										0.413

表 7-2　架空銅导綫的电阻和电抗值
(单位：欧/公里)

导　綫　牌　号	T-4	T-6	T-10	T-16	T-25	T-35	T-50	T-70	T-95	T-120
电　阻 r_0 (欧/公里)	4.65	3.06	1.84	1.20	0.74	0.54	0.39	0.28	0.20	0.158
計算直徑(毫米) / 几何均距(米)	2.2	2.7	3.5	5.1	6.3	7.5	9.0	10.6	12.4	14.0
0.4	0.385	0.371	0.355	0.333	0.319	0.308	0.297			
0.6	0.411	0.397	0.381	0.358	0.345	0.336	0.325	0.309	0.300	
0.8	0.429	0.415	0.399	0.377	0.363	0.352	0.341	0.327	0.318	
1.0		0.429	0.413	0.391	0.377	0.366	0.355	0.341	0.332	
1.25		0.443	0.427	0.405	0.391	0.380	0.369	0.355	0.346	
1.5			0.438	0.416	0.402	0.391	0.380	0.366	0.357	
2.0			0.457	0.435	0.421	0.410	0.398	0.385	0.376	0.368
2.5				0.449	0.435	0.424	0.413	0.399	0.390	0.382
3.0				0.460	0.446	0.435	0.423	0.410	0.401	0.393
3.5				0.470	0.456	0.445	0.433	0.420	0.411	0.403
4.0				0.478	0.464	0.453	0.441	0.428	0.419	0.411
4.5					0.471	0.460	0.448	0.435	0.426	0.418
5.0						0.467	0.456	0.442	0.433	0.425
5.5								0.443	0.439	0.431
6.0								0.454	0.445	0.437

表7-3　架空鋼导綫的外电抗值 x_0'
(单位：欧/公里)

导　綫　牌　号	G-φ3.5	G-φ4	G-φ5	G-φ6	G-25	G-35	G-50	G-70	G-95	G-120
計算直徑(毫米) / 几何均距(米)	3.5	4.0	5.0	6.0	5.6	7.8	9.2	11.5	12.6	16.2
0.4	0.341	0.332	0.318	0.307	0.310	0.290	0.281			
0.6	0.368	0.359	0.345	0.334	0.336	0.317	0.308	0.295		
0.8	0.384	0.375	0.361	0.350	0.356	0.333	0.324	0.311	0.303	
1.0	0.398	0.389	0.375	0.364	0.368	0.347	0.338	0.325	0.317	0.301
1.25		0.403	0.389	0.378	0.382	0.361	0.352	0.339	0.331	0.315
1.5		0.414	0.400	0.389	0.393	0.372	0.363	0.350	0.342	0.326
2.0					0.411	0.391	0.382	0.369	0.361	0.345
2.5					0.425	0.405	0.396	0.383	0.375	0.359
3.0					0.436	0.416	0.406	0.394	0.386	0.370

表 7-4 鋼导綫的內电抗 x_0''

（单位：欧/公里）

电流（安）	导綫型号 G-φ3.5	G-φ4	G-φ5	G-φ6	G-25	G-35	G-50	G-70	G-95
1	2.27	1.54			0.54	0.33	0.23	0.16	
1.5	4.24	2.82	2.13		0.55	0.34	0.23	0.16	0.08
2	6.45	4.38	3.58	3.95	0.55	0.35	0.24	0.17	0.08
3	9.60	7.90	6.45	5.53	0.56	0.36	0.25	0.17	0.08
4	11.9	9.70	8.10	7.20	0.59	0.37	0.25	0.18	0.08
5	14.1	11.5	9.70	8.40	0.63	0.40	0.26	0.18	0.08
6	16.3	12.5	11.2	9.15	0.67	0.42	0.27	0.19	0.08
7	16.5	13.2	12.3	9.55	0.70	0.45	0.27	0.19	0.08
8	16.7	14.2	13.3	9.85	0.77	0.48	0.28	0.20	0.08
9	16.9	14.3	13.1	9.90	0.84	0.51	0.29	0.20	0.08
10	17.1	14.3	12.4	10.3	0.93	0.55	0.30	0.21	0.08
15	18.3	13.3	11.4	10.0	1.33	0.75	0.35	0.23	0.08
20			10.5	9.70	1.63	1.04	0.42	0.25	0.09
25				9.20	1.91	1.32	0.49	0.27	0.09
30					2.01	1.56	0.59	0.30	0.09
35					2.06	1.64	0.69	0.33	0.09
40					2.09	1.69	0.80	0.37	0.10
45					2.08	1.71	0.91	0.41	0.11
50					2.07	1.72	1.00	0.45	0.11
60					2.00	1.70	1.10	0.55	0.13
70					1.90	1.64	1.14	0.65	0.15
80					1.79	1.57	1.15	0.70	0.17
90					1.73	1.50	1.14	0.72	0.20
100					1.67	1.43	1.13	0.73	0.23
125						1.29	1.04	0.73	0.31
150						1.27	0.95	0.73	0.34
175							0.94	0.71	0.35
200								0.69	0.35

表 7-5 鋼导綫的电阻値

（单位：欧/公里）

电流（安）	导綫型号 G-φ3.5	G-φ4	G-φ5	G-φ6	G-25	G-35	G-50	G-70	G-95
1	15.2	11.8			5.25	3.66	2.75	1.70	1.55
1.5	15.7	12.3	7.9		5.26	3.66	2.75	1.70	1.55
2	16.1	12.5	8.4	7.2	5.27	3.66	2.75	1.70	1.55
3	17.4	13.4	9.5	7.7	5.28	3.67	2.75	1.70	1.55
4	18.5	14.3	10.8	8.9	5.30	3.69	2.75	1.70	1.55
5	20.1	15.5	12.3	10.1	5.32	3.70	2.75	1.70	1.55
6	21.4	16.5	13.8	10.7	5.35	3.71	2.75	1.70	1.55
7	21.5	17.3	15.0	11.1	5.37	3.73	2.75	1.70	1.55
8	21.7	18.0	15.4	11.3	5.40	3.75	2.76	1.70	1.55
9	21.8	18.1	15.2	11.4	5.45	3.77	2.77	1.70	1.55
10	21.9	18.1	14.6	11.5	5.50	3.80	2.78	1.70	1.55
15	20.2	17.3	13.6	11.3	5.97	4.02	2.80	1.70	1.55
20			12.7	11.0	6.70	4.40	2.85	1.72	1.55
25				10.7	6.97	4.89	2.95	1.74	1.55
30					7.10	5.21	3.10	1.77	1.56
35					7.10	5.36	3.25	1.79	1.56
40					7.02	5.35	3.40	1.83	1.57
45					6.92	5.30	3.52	1.88	1.57
50					6.82	5.20	3.61	1.93	1.58
60					6.70	5.13	3.69	2.07	1.58
70					6.60	5.00	3.73	2.21	1.61
80					6.50	4.89	3.70	2.27	1.63
90					6.40	4.78	3.68	2.29	1.67
100					6.32	4.71	3.65	2.33	1.71
125						4.60	3.58	2.33	1.83
150						4.47	3.50	2.38	1.87
175							3.45	2.23	1.89
200								2.19	1.88

表 7-6 架空鋼芯鋁綫的电納值b_0

（单位：10^{-6}莫/公里）

导綫牌号	LG-35	LG-50	LG-70	LG-95	LG-120	LG-150	LG-185	LG-240
計算直徑(毫米)	8.3	9.9	11.7	13.9	15.3	17.0	19.1	21.5
几何均距(米)								
2.0	2.83	2.91						
2.5	2.73	2.81						
3.0	2.65	2.72	2.79	2.87	2.92	2.97	3.03	3.10
3.5	2.59	2.66	2.73	2.81	2.85	2.90	2.96	3.02
4.0	2.54	2.61	2.68	2.75	2.79	2.85	2.90	2.96
4.5	2.49	2.56	2.62	2.69	2.74	2.79	2.84	2.89
5.0	2.46	2.52	2.58	2.65	2.69	2.74	2.82	2.85
5.5	2.43	2.48	2.54	2.61	2.67	2.70	2.74	2.80
6.0								2.76

每公里綫路的电納由下式得出：

$$b_0=\frac{7.58}{\lg\frac{2D_{p,j}}{d}}10^{-6}，莫/公里 \qquad (7\text{-}8)$$

式中符号同式(7-3)。

l 公里綫路的电納为：

$$B=b_0 l \qquad (7\text{-}9)$$

鋼芯鋁綫每公里的电納值b_0，可以从表7-6查出。

2.变压器的等值图

在进行电气計算时，一般忽略变压器的激磁功率。变压器簡化的等值阻抗图如图 7-2 和图 7-3 所示。如果需要考虑变压器的激磁功率，可以把它作为負荷一样看待，并放在等值器的前面。

图 7-2 双綫卷变压器等值阻抗图

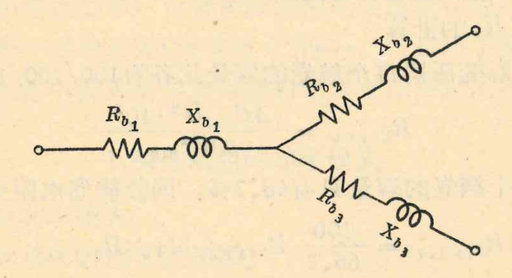


图7-3 三綫卷变压器等值阻抗图

(1)双綫卷变压器的阻抗計算

1)电阻R_b的計算

$$R_b=\frac{\Delta P_{d,l}\cdot U^2\cdot 10^3}{W^2_{e,d}}，欧 \qquad (7\text{-}10)$$

式中 $\Delta P_{d,l}$——变压器在額定負荷下的短路損耗，(瓩)；

U——变压器的主接头电压，(千伏)；

$W_{e.d}$——变压器的額定容量，(千伏安)。

如果求三相变压器的R_b，则$\Delta P_{d.l}$、$W_{e.d}$是对三相而言的，U是綫电压。单相变压器的R_b，則$\Delta P_{d.l}$、W_{ed}是对单相而言的，U是相电压。

2)电抗X_b的計算

$$X_b=\frac{U_x\%U^2\cdot 10}{W_{e.d}}\text{欧} \tag{7-11}$$

式中 $U_x\%$——短路电压的无功分量，以百分数表示；

$$U_x\%=\sqrt{(U_{d.l}\%)^2-(U_R\%)^2} \tag{7-12}$$

$U_{d.l}\%$——变压器短路电压占額定电压的百分数；

$U_R\%$——短路电压有功分量以百分数表示。

应該指出$U_R\%$在数值上等于变压器的短路損耗对額定容量的百分数，即

$$U_R\%=\frac{\Delta P_{d.l}}{W_{e.d}}100\%=\Delta P_{d.l}\% \tag{7-13}$$

对于1000千伏安以上变压器，$U_x\%\approx U_{d.l}\%$。

(2)三卷变压器的阻抗計算

1)电阻R_b的計算

如果三卷变压器每个綫卷的容量比各为100/100/100，则

$$R_{b(100)}=\frac{\Delta P_{d.l}U^2\cdot 10^3}{2W^2_{e.d}} \tag{7-14}$$

如果一个綫卷的容量只有66.7%，則該綫卷电阻为

$$R_{b(66.7)}=\frac{100}{66.7}R_{b(100)}=1.5R_{b(100)} \tag{7-15}$$

2)电抗X_b的計算

可以利用公式(7-11)求X_b，此时$U_x\%$的計算如下：

因为三卷变压器的$U_x\%\approx U_{d.l}\%$，所以

$$\left.\begin{aligned}U_{x1}\%&=\frac{U_{d.l(1-2)}\%+U_{d.l(1-3)}\%-U_{d.l(2-3)}\%}{2}\\U_{x2}\%&=U_{d.l(1-2)}\%-U_{x1}\%\\U_{x3}\%&=U_{d.l(1-3)}\%-U_{x1}\%\end{aligned}\right\} \tag{7-16}$$

将$U_{x1}\%$，$U_{x2}\%$和$U_{x3}\%$分别代入公式(7-11)可得X_{b1}、X_{b2}和X_{b3}。

变压器的参数参見第八章表8-15至表8-19。对于SJ_1型,SFL型和SFSL型变压器，阻抗值已經計算出来，見表8-15至表8-17。

7-2 架空綫路和变压器中功率損失和电能損失的計算

架空綫路和变压器中功率損失和电能損失是根据图7-1、图7-2和图7-3的等值图进行計算的。

35千伏及以下电压的綫路不計算电容功率。但在110千伏綫路中应該考虑它的影响。

在下面的計算公式中（包括下节电压計算的公式），要用到P、Q、I、U等符号。P、Q和I系指流过等值图中R、X的功率和电流；U是指流过功率为P及Q的那一点的电压。如果P及Q为受端功率时，U是受端电压；P及Q为送端功率时，U是送端电压。但在规划中，U常用綫路額定电压来代替，这样虽然会使計算带来一定的誤差(通常是允許的)，但是便于計算。本节和下节所附表格中計算数字均用綫路額定电压計算出来的。

1.架空綫路的功率損失

(1)有功功率損失

有功功率損失可由下式計算：

$$\Delta P=\frac{P^2+Q^2}{U^2}R\cdot 10^3=\frac{P^2}{U^2\cos\varphi}R\cdot 10^3\text{，瓩} \tag{7-17}$$

(2)无功功率損失

无功功率損失可由下式計算：

$$\Delta Q=\frac{P^2+Q^2}{U^2}X\cdot 10^3=\frac{P^2}{U^2\cos^2\varphi}X\cdot 10^3\text{，千乏} \tag{7-18}$$

式中 P，Q——綫路有功功率和无功功率，分别以千瓩和兆乏

表示；

U——綫电压，(千伏)；

R，X——綫路的电阻和电抗，(欧)。

(3)电容功率

綫路电容产生的功率称为电容功率。在图7-1的等值图中，綫路一側的电容功率由下式得出：

$$Q=\frac{B}{2}U^2\cdot10^3,\ 千乏 \quad (7\text{-}19)$$

式中 B——綫路电納，(莫)；

U——綫电压，(千伏)。

(4)鋼导綫的功率損失

由于鋼导綫的电阻及电抗和通过的电流有关，所以功率損失計算須用下面公式：

$$\Delta P=3I^2R\cdot10^{-3},\ 瓩 \quad (7\text{-}20)$$

$$\Delta Q=3I^2X\cdot10^{-3},\ 千乏 \quad (7\text{-}21)$$

式中 I——綫路流过电流，(安)；

R，X——鋼导綫的电阻及电抗，(欧)。

(5)功率損失系数

为了簡化計算，我們利用功率損失系数这一概念，并把它写在表7-11到表7-18中，表中的 X_0 值是根据通常采用的綫間距离求得的。

功率損失系数定义如下：

1)对于銅鋁架空綫路

有功功率損失系数 $x_{\Delta P}=\frac{10^3}{U^2\cos^2\varphi}r_0$，

瓩/千瓩²-公里 (7-22)

无功功率損失系数 $x_{\Delta Q}=\frac{10^3}{U^2\cos^2\varphi}x_0$，

千乏/千瓩²-公里 (7-23)

綫路电容功率系数 $x_Q=\frac{b_0}{2}U^2\cdot10^3$，千乏/公里 (7-24)

对于鋼导綫：

有功功率損失系数 $x'_{\Delta P}=3I^2r_0\cdot10^{-3}$，瓩/公里 (7-25)

无功功率損失系数 $x'_{\Delta Q}=3I^2x_0\cdot10^{-3}$，千乏/公里 (7-26)

利用这些系数和公式(7-17)至公式(7-21)，可使計算綫路功率損失的公式簡单化。

2)对銅鋁架空綫路

$$\Delta P=P^2lx_{\Delta P},\ 瓩 \quad (7\text{-}27)$$

$$\Delta Q=P^2lx_{\Delta Q},\ 千乏 \quad (7\text{-}28)$$

綫路电容功率 $Q=x_Ql$，千乏 (7-29)

3)对鋼导綫

$$\Delta P=x'_{\Delta P}l,\ 瓩 \quad (7\text{-}30)$$

$$\Delta Q=x'_{\Delta Q}l,\ 千乏 \quad (7\text{-}31)$$

以上公式中 l 表示綫路长度，以公里表示。

各項系数值列在表7-7至表7-14中。

2.变压器的功率損失

(1)有功功率損失的計算

$$\Delta P_b=\frac{P^2+Q^2}{W^2_{e.d}}\Delta P_{d.l}+\Delta P_{k.z},\ 瓩 \quad (7\text{-}32)$$

或 $$\Delta P_b=\frac{P^2+Q^2}{U^2}R_b\cdot10^3+\Delta P_{k.z}\ \ 瓩 \quad (7\text{-}33)$$

(2)无功功率損失的計算

$$\Delta Q_b=\frac{P^2+Q^2}{W^2_{e.d}}\Delta Q_{d.l}+\Delta Q_{k.z},\ 千乏 \quad (7\text{-}34)$$

或 $$\Delta Q_b=\frac{P^2+Q^2}{U^2}X_b\cdot10^3+\Delta Q_{k.z},\ 千乏 \quad (7\text{-}35)$$

式中 P，Q——变压器通过的有功及无功負荷，分别以千瓩及兆乏表示；

$W_{e.d}$——变压器的額定容量，(兆伏安)；

U——綫間电压，(千伏)；

R_b，X_b——变压器的电阻及电抗，(欧)；

$\Delta P_{k.z}$, $\Delta Q_{k.z}$——变压器的空載有功損失和空載无功損失，可由表查得，分别以瓩和千乏表示；

$\Delta P_{d.l}$, $\Delta Q_{d.l}$——变压器的短路有功損失及短路无功損失，可由表查得，分别以瓩及千乏表示；

又
$$\Delta Q_{k.z}=\frac{W_{e.d}I_{k.z}\%}{100}，千乏 \tag{7-36}$$

$$\Delta Q_{d.l}=\sqrt{\left(\frac{U_{d.l}\%W_{e.d}}{100}\right)^2-\Delta P^2_{d.l}}，千乏 \tag{7-37}$$

式中　$I_{k.z}\%$和$U_{d.l}\%$——分别为空載电流和短路电压的百分数，可从产品目录中查得；

$W_{e.d}$和$\Delta P_{d.l}$——分别为变压器額定容量和短路損失，分别以千伏安和瓩表示。

当变压器容量在1000千伏安以上时

$$\Delta Q_{d.l}=\frac{U_{d.l}\%W_{e.d}}{100} \tag{7-38}$$

（3）电能損失ΔN

$$\Delta N=\Delta P\tau，度 \tag{7-39}$$

式中　ΔP——有功功率損失，（瓩）；

τ——損耗小时，它与最大負荷年利用小时T有关，如图7-4所示。

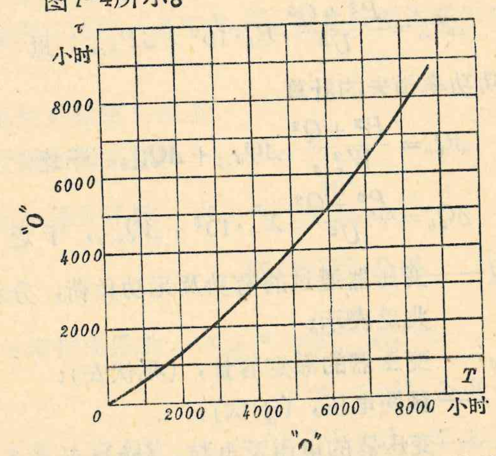


图 7-4　損耗小时τ和最大負荷利用小时T关系

表 7-7　380伏三相架空綫路功率損失系数表

导綫牌号	导綫电阻 (欧/公里)	cos φ 0.85	0.80	0.75	0.70	0.65
		有功功率損失系数(10^{-3}瓩/千瓩^2-公里)				
T-4	4.65	44.6	50.3	57.2	65.7	76.2
T-6	3.06	29.3	33.1	37.7	43.2	50.2
T-10	1.84	17.6	19.9	22.7	26.0	30.2
T-16	1.20	11.5	13.0	14.8	17.0	19.7
T-25	0.74	7.09	8.01	9.11	10.5	12.1
T-35	0.54	5.18	5.84	6.65	7.63	8.85
L-16	1.96	18.8	21.2	24.1	27.7	32.1
L-25	1.27	12.2	13.7	15.6	18.0	20.8
L-35	0.91	8.72	9.85	11.2	12.9	14.9
L-60	0.63	6.04	6.82	7.76	8.90	10.3
		无功功率損失系数(10^{-3}千乏/千瓩^2-公里)				
T-4	0.429	4.11	4.64	5.28	6.06	7.03
T-6	0.416	3.99	4.50	5.12	5.88	6.82
T-10	0.400	3.83	4.33	4.92	5.65	6.56
T(L)-16	0.376	3.60	4.07	4.63	5.31	6.16
T(L)-25	0.363	3.48	3.93	4.47	5.13	5.95
T(L)-35	0.352	3.37	3.81	4.33	4.97	5.77
T-50	0.341	3.27	3.61	4.20	4.82	5.59

注：利用本表时，公式(7-27)和(7-28)中P的单位是瓩。

表 7-8　6千伏三相架空綫路功率損失系数表

导綫牌号	导綫电阻 (欧/公里)	cos φ 0.85	0.80	0.75	0.70	0.65
		有功功率損失系数(瓩/千瓩²-公里)				
L-16	1.96	75.3	85.1	96.8	111.0	129
L-25	1.27	48.8	55.1	62.7	72.0	83.5
L-35	0.91	35.0	39.5	44.9	51.6	59.8
L-50	0.63	24.2	27.3	31.1	35.7	41.4
L-70	0.45	17.3	19.5	22.2	25.5	29.6
L-95	0.33	12.7	14.3	16.3	18.7	21.7
L-120	0.27	10.4	11.7	13.3	15.3	17.8
		无功功率損失系数(千乏/千瓩²-公里)				
L-16	0.398	15.3	17.7	19.7	22.6	26.2
L-25	0.385	14.8	16.7	19.0	21.8	25.3
L-35	0.374	14.4	16.2	18.5	21.2	24.6
L-50	0.363	14.0	15.8	17.9	20.6	23.9
L-70	0.349	13.4	15.2	17.2	19.8	22.9
L-95	0.339	13.0	14.7	16.7	19.2	22.3
L-120	0.332	12.8	14.4	16.4	18.8	21.8

表 7-9　10千伏三相架空綫路功率損失系数表

导綫牌号	导綫电阻 (欧/公里)	cos φ 0.85	0.80	0.75	0.70	0.65
		有功功率損失系数(瓩/千瓩²-公里)				
L-16	1.96	27.1	30.6	34.9	40.0	46.4
L-25	1.27	17.6	19.9	22.6	25.9	30.1
L-35	0.91	12.6	14.2	16.2	18.6	21.5
L-50	0.63	8.72	9.85	11.2	12.9	14.9
L-70	0.45	6.23	7.03	8.00	9.18	10.7
L-95	0.33	4.57	5.16	5.87	6.73	7.81
L-120	0.27	3.74	4.22	4.80	5.51	6.39
		无功功率損失系数(千乏/千瓩²-公里)				
L-16	0.398	5.51	6.22	7.08	8.12	9.42
L-25	0.385	5.33	6.02	6.85	7.85	9.11
L-35	0.374	5.18	5.85	6.65	7.63	8.85
L-50	0.363	5.02	5.67	6.45	7.41	8.59
L-70	0.349	4.80	5.42	6.17	7.08	8.21
L-95	0.339	4.69	5.30	6.03	6.92	8.02
L-120	0.332	4.60	5.19	5.90	6.77	7.86

表 7-10 35千伏三相架空綫路功率損失系数表

导綫牌号	导綫电阻 (欧/公里)	cos φ				电容功率 (千乏/公里)
		0.85	0.8	0.75	0.7	
有功功率損失系数(瓩/千瓩²-公里)						
GL-35	0.91	1.03	1.16	1.32	1.52	3.14
GL-50	0.63	0.712	0.804	0.914	1.05	3.22
GL-70	0.45	0.509	0.574	0.653	0.75	3.32
GL-95	0.33	0.373	0.421	0.479	0.55	3.40
GL-120	0.27	0.305	0.345	0.392	0.45	3.45
GL-150	0.21	0.237	0.268	0.305	0.35	3.50
GL-185	0.17	0.192	0.217	0.247	0.283	3.57
无功功率損失系数(千乏/千瓩²-公里)						
GL-35	0.432	0.488	0.551	0.627	0.72	
GL-50	0.421	0.476	0.537	0.611	0.701	
GL-70	0.411	0.464	0.524	0.596	0.685	
GL-95	0.400	0.452	0.51	0.58	0.666	
GL-100	0.394	0.445	0.503	0.572	0.656	
GL-150	0.387	0.437	0.494	0.562	0.645	
GL-185	0.380	0.429	0.485	0.551	0.633	

表 7-11 60千伏三相架空綫路功率損失系数表

导綫牌号	导綫电阻 (欧/公里)	cos φ				电容功率 (千乏/公里)
		0.9	0.85	0.8	0.75	
有功功率損失系数(10^{-3}瓩/千瓩²-公里)						
GL-35	0.91	312	350	395	449	9.06
GL-50	0.63	216	242	273	311	9.29
GL-70	0.45	154	173	195	222	9.50
GL-95	0.33	113	127	143	163	9.75
GL-120	0.27	92.6	104	117	133	9.90
GL-150	0.21	72.0	80.7	91.1	104	10.1
GL-185	0.17	58.3	65.4	73.8	84.0	10.3
无功功率損失系数(10^{-3}千乏/千瓩²-公里)						
GL-35	0.438	150	168	190	216	
GL-50	0.428	147	165	186	211	
GL-70	0.420	144	162	182	207	
GL-95	0.409	140	157	178	202	
GL-120	0.403	138	155	175	199	
GL-150	0.396	136	152	172	196	
GL-185	0.389	133	150	169	192	

表 7-12 110千伏三相架空綫路功率損失系数表

导綫牌号	导綫电阻(欧/公里)	cos φ 0.9	0.85	0.8	0.75	电容功率(千乏/公里)
		有功功率損失系数(10^{-3}瓩/千瓩^2-公里)				
GL-50	0.63	64.3	72.1	81.3	92.6	30.5
GL-70	0.45	45.9	51.5	58.1	66.1	31.2
GL-95	0.33	33.7	37.8	42.6	48.5	32.0
GL-120	0.27	27.5	30.9	34.9	39.7	32.6
GL-150	0.21	21.4	24.0	27.1	30.9	33.1
GL-185	0.17	17.3	19.5	22.0	25.0	33.8
GL-240	0.13	13.3	14.9	16.8	19.1	34.4
		无功功率損失系数(10^{-3}千乏/千瓩^2-公里)				
GL-50	0.435	44.4	49.8	56.2	63.9	
GL-70	0.429	43.8	49.1	55.4	63.0	
GL-95	0.418	42.6	47.8	54.0	61.4	
GL-120	0.412	42.0	47.1	53.2	60.5	
GL-150	0.405	41.3	46.3	52.3	59.5	
GL-185	0.398	40.6	45.5	51.4	58.5	
GL-240	0.391	39.9	44.7	50.5	57.4	

表 7-13 架空鋼导綫有功功率損失系数

(单位：10^{-3}瓩/公里)

綫号 / 电流(安培)	G-φ4	G-φ5	G-25	G-35	G-50
1	35.4		15.8	11.0	8.25
2	150	100	63.2	43.9	33.0
3	362	257	143	99.1	74.3
4	686	518	254	117	132
5	1160	923	399	278	206
6	1780	1490	578	401	297
7	2540	2210	789	548	404
8	3460	2960	1040	720	530
9	4400	3690	1320	916	673
10	5430	4380	1650	1140	834
11	6530	5260	2030	1400	1010
12	7730	6220	2460	1680	1200
13	8970	7200	2930	1990	1420
14	10400	8230	3460	2320	1650
15	11700	9180	4030	2710	1890
16			4680	3160	2160
17			5370	3620	2450
18			6230	4140	2750
19			7160	4670	3080
20			8040	5280	3420
21					3800
22					4200
23					4620
24					5060
25					5530

表 7-14 架空鋼导綫无功功率損失系数表(6～10千伏)

(单位：10^{-3}千乏/公里)

綫号 / 电流(安培)	G-φ4	G-φ5	G-25	G-35	G-50
1	5.81		2.75	2.05	1.73
2	57.3	47.5	11.1	8.45	7.02
3	224	185	25.3	19.3	16.1
4	485	407	46.3	34.8	28.6
5	892	756	75.4	56.6	45.4
6	1390	1250	113	83.6	66.4
7	2000	1860	158	118	90.4
8	2800	2630	220	160	120
9	3570	3280	295	210	154
10	4410	3840	392	271	194
11	5260	4570	503	343	238
12	6180	5350	633	425	287
13	7100	6180	783	519	342
14	8110	6960	956	626	403
15	9250	2950	1150	745	469
16			1360	892	545
17			1580	1060	627
18			1830	1240	716
19			2110	1450	813
20			2440	1670	918
21					1030
22					1150
23					1280
24					1420
25					1570

7-3 架空綫路和变压器电压損失的計算

本节所用等值图，符号和假設和上一节一样。

在电压損失的計算公式中只考慮电压降的纵分量，沒有考慮它的横分量。在規划設計的一般电气計算中，这样的假定是允許的。

1. 架空綫路的电压損失

架空綫路电压損失可由下式計算：

$$\Delta U=\frac{PR+QX}{U}，千伏 \qquad (7\text{-}40)$$

式中 P，Q——綫路輸送有功功率和无功功率，以千瓩和兆乏表示；

R，X——綫路电阻和电抗(欧)；

U——綫路电压，(千伏)。

由于 $Q=P\,\mathrm{tg}\,\varphi$，$R=r_0 l$，$X=x_0 l$，代入上式得

$$\Delta U=\frac{r_0+x_0\,\mathrm{tg}\,\varphi}{U}Pl=x_{\Delta U}Pl，伏 \qquad (7\text{-}41)$$

式中 $x_{\Delta U}$——电压損失系数，$x_{\Delta U}=\frac{r_0+x_0\,\mathrm{tg}\,\varphi}{U}$，(伏/瓩-公里)；

P——綫路有功功率，(瓩)。

如$x_{\Delta U}$以千伏/千瓩-公里表示时，P的单位应为千瓩，ΔU的单位为千伏。各种电压的电压損失系数列在表7-15和表7-16中。

2. 鋼导綫的电压損失

鋼导綫的电压損失可由下式計算：

$$\Delta U=\sqrt{3}\,I(R\cos\varphi+X\sin\varphi)，伏 \qquad (7\text{-}42)$$

式中 I——(安)。

令$x'_{\Delta U}=\sqrt{3}\,I(r_0\cos\varphi+x\sin\varphi)$ 伏/公里表示鋼导綫的电压損失系数，则它的电压損失，可由下式計算。

$$\Delta U=x'_{\Delta U}l \quad 伏 \qquad (7\text{-}43)$$

6～10千伏鋼导綫的电压損失系数列在表 7-17 至表7-21中。

3.变压器的电压損失

变压器的电压損失可以按公式(7-40)进行，也可以按下式进行計算：

$$\Delta U\% = \frac{P}{W_{e.d}} U_R\% + \frac{Q}{W_{e.d}} U_x\% \qquad (7\text{-}44)$$

式中 $W_{e.d}$——变压器的額定容量；

$U_R\%$与$U_x\%$——变压器短路电压的有功分量和无功分量，它們的計算方法已在本章第一节闡述过。

用公式(7-44)算出来的数字是电压損失的百分数，乘上綫路电压，就可得电压損失的实际值。

表 7-15　0.38～10千伏三相架空綫路电压損失系数

(单位：伏/瓩-公里)

电压(千伏)	导綫牌号	阻抗(欧/公里)		cosφ				
		电阻	电抗	0.85	0.8	0.75	0.7	0.65
0.38	L-16	1.96	0.376	5.77	5.90	6.03	6.17	6.32
	L-25	1.27	0.363	3.93	4.06	4.19	4.32	4.46
	L-35	0.91	0.352	2.97	3.09	3.21	3.34	3.48
	L-50	0.63	0.341	2.21	2.33	2.45	2.57	2.71
	T-4	4.65	0.429	12.9	13.1	13.2	13.4	13.6
	T-6	3.06	0.416	8.73	8.87	9.02	9.17	9.33
	T-10	1.84	0.400	5.50	5.63	5.77	5.92	6.07
	T-16	1.20	0.376	3.77	3.90	4.03	4.17	4.32
	T-25	0.74	0.363	2.54	2.66	2.79	2.92	3.06
	T-35	0.54	0.352	2.00	2.12	2.24	2.37	2.50
6	L-16	1.96	0.398	0.368	0.376	0.385	0.394	0.404
	L-25	1.27	0.385	0.251	0.260	0.268	0.277	0.287
	L-35	0.91	0.375	0.190	0.199	0.207	0.215	0.225
	L-50	0.63	0.363	0.143	0.150	0.158	0.167	0.176
	L-70	0.45	0.349	0.111	0.119	0.126	0.134	0.143
	L-95	0.33	0.339	0.090	0.0977	0.105	0.113	0.121
	L-120	0.27	0.332	0.0793	0.0865	0.0938	0.101	0.110
10	L-16	1.96	0.398	0.221	0.226	0.231	0.237	0.243
	L-25	1.27	0.385	0.151	0.156	0.161	0.166	0.172
	L-35	0.91	0.375	0.114	0.119	0.124	0.129	0.135
	L-50	0.63	0.363	0.0855	0.0902	0.095	0.100	0.105
	L-70	0.45	0.349	0.0666	0.0712	0.0758	0.0806	0.0858
	L-95	0.33	0.339	0.0540	0.0584	0.0629	0.0676	0.0726
	L-120	0.27	0.332	0.0476	0.0519	0.0563	0.0609	0.0658

表 7-16　35～110千伏三相架空綫路电压損失系数

(单位：10^{-3}千伏/千瓩-公里)

电压(千伏)	导綫牌号	阻抗(欧/公里)		cosφ				
		电阻	电抗	0.90	0.85	0.8	0.75	0.7
35	GL-35	0.91	0.432		33.7	35.3	36.9	38.6
	GL-50	0.63	0.421		25.5	27.0	28.6	30.3
	GL-70	0.45	0.411		20.1	21.7	23.2	24.8
	GL-95	0.33	0.400		16.5	18.0	19.5	21.1
	GL-120	0.27	0.394		14.7	16.2	17.6	19.2
	GL-150	0.21	0.387		12.9	14.3	15.8	17.3
	GL-185	0.17	0.380		11.6	13.0	14.4	15.9
60	GL-35	0.91	0.438	18.7	19.7	20.6	21.6	
	GL-50	0.63	0.428	14.0	14.9	15.9	16.8	
	GL-70	0.45	0.420	10.9	11.8	12.8	13.7	
	GL-95	0.33	0.419	8.80	9.73	10.6	11.5	
	GL-120	0.27	0.413	7.75	8.66	9.54	10.4	
	GL-150	0.21	0.396	6.70	7.59	8.45	9.32	
	GL-180	0.17	0.389	5.97	6.85	7.70	8.42	
110	GL-50	0.63	0.439	7.64	8.18	8.69	9.22	
	GL-70	0.45	0.429	5.98	6.51	7.02	7.49	
	GL-95	0.33	0.418	4.84	5.36	5.85	6.35	
	GL-120	0.27	0.412	4.27	4.78	5.26	5.76	
	GL-150	0.21	0.405	3.69	4.19	4.67	5.16	
	GL-180	0.17	0.398	3.30	3.79	4.26	4.74	
	GL-240	0.13	0.391	2.90	3.39	3.85	4.32	

表 7-17　G-Φ4架空鋼导綫电压損失系数(6～10千伏)

(单位：伏/公里)

电流(安培)	阻抗(欧/公里)		cosφ			
	电阻	电抗	0.8	0.7	0.65	0.6
1	11.8	1.94	18.4	16.7	15.8	15.0
2	12.5	4.78	44.6	40.7	40.7	39.2
3	13.4	8.30	81.9	79.5	78.0	76.3
4	14.3	10.1	121	119	118	115
5	15.5	11.9	169	168	166	163
6	16.5	12.9	218	216	208	210
7	17.3	13.6	267	265	262	258
8	18.0	14.6	321	319	316	312
9	18.1	14.7	363	361	357	353
10	18.1	14.7	403	401	397	392
11	18.0	14.5	440	437	433	427
12	17.9	14.3	476	473	468	461
13	17.7	14.1	509	506	500	493
14	17.5	13.9	542	538	532	524
15	17.3	13.7	573	569	562	554

表 7-18　G-φ5架空鋼导綫电压損失系数(6～10千伏)

(单位：伏/公里)

电流(安培)	阻抗(欧/公里) 电阻	电抗	cosφ 0.8	0.7	0.65	0.6
1	8.4	3.96	31.5	30.2	29.3	28.4
2	9.5	6.83	60.8	59.9	59.0	58.0
3	10.8	8.48	95.1	94.3	93.2	91.9
4	12.3	10.1	138	137	136	133
5	13.8	11.6	187	186	185	182
6	15.0	12.7	238	237	235	232
7	15.4	13.7	284	285	283	280
8	15.2	13.5	316	316	314	310
9	14.6	12.8	335	335	332	329
10	14.5	12.7	366	366	363	359
11	14.4	12.5	395	395	392	387
12	14.2	12.3	422	421	418	413
13	14.0	12	446	445	442	437
14	13.6	11.8	467	466	462	457
15						

表 7-19　G-25架空鋼导綫电压損失系数(6～10千伏)

(单位：伏/公里)

电流(安培)	阻抗(欧/公里) 电阻	电抗	cosφ 0.8	0.70	0.65	0.60
1	5.25	0.915	8.22	7.49	7.11	6.72
2	5.27	0.925	16.5	15.1	14.3	13.5
3	5.28	0.935	24.8	22.7	21.5	20.3
4	5.30	0.965	33.4	30.4	28.9	27.4
5	5.32	1.01	42.0	38.4	36.5	34.6
6	5.35	1.05	50.9	46.6	44.3	42.0
7	5.37	1.08	59.8	54.8	52.2	49.4
8	5.40	1.15	69.3	63.6	60.6	57.5
9	5.45	1.22	79.2	72.9	69.5	66.1
10	5.50	1.31	89.7	82.7	79.0	75.2
11	5.60	1.39	101	93.4	89.3	85.0
12	5.69	1.47	113	105	100	95.4
13	5.78	1.55	125	116	111	106
14	5.88	1.63	137	128	122	117
15	5.97	1.71	151	140	135	129
16	6.09	1.77	164	153	147	140
17	6.19	1.83	178	166	159	152
18	6.41	1.89	195	182	175	167
19	6.60	1.95	212	198	190	182
20	6.70	2.01	227	212	203	195

表 7-20　G-35架空鋼导綫电压損失系数(6～10千伏)

(单位：伏/公里)

电流(安培)	阻抗(欧/公里) 电阻	电抗	cosφ 0.8	0.70	0.65	0.60
1	3.66	0.684	5.78	5.28	5.01	4.75
2	3.66	0.704	11.6	10.6	10.1	9.55
3	3.67	0.714	17.5	16.0	15.2	14.4
4	3.69	0.724	23.4	21.5	20.4	19.3
5	3.70	0.754	29.5	27.1	25.8	24.4
6	3.71	0.774	35.6	32.7	31.1	29.5
7	3.73	0.804	42.0	38.6	36.8	34.9
8	3.75	0.834	48.5	44.6	42.5	40.4
9	3.77	0.864	55.0	50.7	48.4	46.0
10	3.80	0.904	62.0	57.2	54.6	52.0
11	3.86	0.944	69.5	64.3	61.4	58.5
12	3.89	0.984	77.0	71.3	68.1	64.9
13	3.93	1.02	84.6	78.4	75.0	71.5
14	3.94	1.06	91.7	85.1	81.5	77.8
15	4.02	1.10	101	93.7	90.0	85.7
16	4.11	1.16	110	103	98.4	94.1
17	4.18	1.22	120	112	107	102
18	4.26	1.28	130	122	117	112
19	4.32	1.34	140	131	126	120
20	4.40	1.39	151	141	136	130

表 7-21　G-50架空鋼导綫电压損失系数(6～10千伏)

(单位：伏/公里)

电流(安培)	阻抗(欧/公里) 电阻	电抗	cosφ 0.8	0.70	0.65	0.60
1	2.75	5.75	4.40	4.04	3.85	3.65
2	2.75	5.85	8.83	8.11	7.73	7.33
3	2.75	5.95	13.3	12.2	11.6	11.0
4	2.75	5.95	17.7	16.3	15.5	14.7
5	2.75	6.05	22.3	20.5	19.6	18.6
6	2.75	6.15	26.7	24.5	23.4	22.2
7	2.75	6.15	31.1	28.6	27.3	25.9
8	2.76	6.25	35.8	32.9	31.4	29.8
9	2.77	6.35	40.4	37.3	35.5	33.8
10	2.78	6.45	45.2	41.6	39.7	37.8
11	2.78	6.55	49.8	45.9	43.9	41.7
12	2.78	6.65	54.6	50.4	48.1	45.8
13	2.79	6.75	59.3	54.8	52.3	49.8
14	2.80	6.85	64.2	59.3	56.6	53.9
15	2.80	6.95	69.1	63.9	61.0	58.1
16	2.81	7.09	74.1	68.5	65.5	62.4
17	2.82	7.23	79.1	73.2	70.0	66.8
18	2.83	7.37	84.4	78.2	74.9	71.4
19	2.84	7.51	89.6	83.1	79.5	75.8
20	2.85	7.65	94.8	87.9	84.2	80.3
21	2.87	7.79	100	93.1	89.2	85.1
22	2.89	7.93	106	98.7	94.5	90.2
23	2.91	8.07	112	104	99.7	99.0
24	2.93	8.21	118	109	105	100
25	2.95	0.835	124	115	110	105

7-4 例 题

例 1：有10千伏三相架空綫路2.5公里，輸送功率为150瓩，功率因数 $\cos\varphi$ 为 0.7，最大負荷利用小时 1500 小时，試計算用 L-16和 G-25 导綫时的綫路功率损失、电能损失和电压损失。

解：（1）功率损失的計算

1）导綫为 L-16 的功率损失

已知：$U=10$千伏，$\cos\varphi=0.7$，查表7-9 得 L-16 的功率损失系数：

$$x_{\Delta P}=40(\text{瓩/千瓩}^2\text{-公里});$$

$$x_{\Delta Q}=8.12(\text{千乏/千瓩}^2\text{-公里}).$$

代入公式(7-27)(7-28)得：

有功损失 $\Delta P=x_{\Delta P}P^2l=40\times0.15^2\times2.5=2.25$瓩；

无功损失 $\Delta Q=x_{\Delta Q}P^2l=8.12\times0.15^2\times2.5=0.456$千乏。

2）导綫为 G-25 的功率损失

已知：$U=10$千伏，$\cos\varphi=0.7$，$P=150$ 瓩，求得負荷电流为：

$$I=\frac{P}{\sqrt{3}\,U\cos\varphi}=\frac{150}{\sqrt{3}\times10\times0.7}=12.4\text{安}.$$

再查表7-13和7-14。由于表中所列电流值均为整数，故用插入法求出功率损失系数：

$$x_{\Delta P}=2.65\text{瓩/公里};$$

$$x_{\Delta Q}=0.69\text{千乏/公里}.$$

代入公式(7-30)和(7-31)得功率损失为：

有功损失 $\Delta P=x_{\Delta P}l=2.65\times2.5=6.63$瓩；

无功损失 $\Delta Q=x_{\Delta Q}l=0.69\times2.5=1.73$千乏.

（2）电能损失的計算

已知 $T_M=1500$小时，由图7-4曲綫得$\tau_M=900$小时。

1）导綫为 L-16 的綫路年电能损失

代入公式(7-39)得

由公式(7-39)得 $\Delta N=\Delta P\quad\tau=2.25\times900=2022$度.

2）导綫为 G-25 的綫路电能损失

$$\Delta N\approx6.63\times900=5960\text{度}.$$

（3）电压损失的計算

1）导綫为 L-16的綫路电压损失

已知 $U=10$ 千伏，$\cos\varphi=0.7$，查表 7-15 得电压损失系数 $x_{\Delta u}=0.237$千伏/千瓩-公里。

代入公式(7-41)，得电压损失 $\Delta U=x_{\Delta U}PL=0.237\times0.15\times2.5=0.089$千伏。

电压损失百分值 $$\Delta U\%=\frac{\Delta U}{U}100=\frac{0.089}{10}\times100=0.89.$$

2）导綫为 G-25 綫路的綫路电压损失

已知 $U=10$千伏，$I=12.4$安，$\cos\varphi=0.7$查表7-19用插入法得： $x_{\Delta U}=109.4$伏/公里.

代入公式(7-43)得电压损失：

$$\Delta U=x_{\Delta U}l=109.4\times2.5=274\text{伏}=0.274\text{千伏}.$$

电压损失百分值为：

$$\Delta U\%=\frac{0.274}{10}100=2.74.$$

例 2：有一台三相双卷SJ_1-100/10型降压变压器，低压負荷为 80-j70.5($\cos\varphi=0.75$)，試計算变压器的阻抗，功率损失和电压降。

解：(1)查表8-15 得 SJ_1-100/10 型变压器的短路损耗$\Delta P_{d.l}=2.25$瓩，短路电压$\Delta U_{d.l}\%=4.5$，利用公式(7-10)得变压器电阻为

$$R_b=\frac{2.25\times10^3\times10^3}{100^2}=22.5\text{欧}.$$

由公式(7-13)得短路电压的有功分量为

$$U_R\%=\frac{2.25}{100}100=2.25.$$

将上值代入公式(7-12)得

$$U_x\% = \sqrt{4.5^2 - 2.25^2} = 3.89.$$

再将上值代入公式(7-11)得

$$X_b = \frac{3.89\times 10^2\times 10}{100} = 38.9\text{欧}.$$

上面求得的数字同表8-15完全相符。

(2)利用公式(7-32)至公式(7-35)即可求得变压器的功率损失。变压器的空載損失和空載电流的百分数由查表8-15得 $\Delta P_{k.z}=0.66$瓩，$i_{k.z}\%=7.5$。利用公式(7-36)得空載无功损失

$$\Delta Q_{k.z} = \frac{100}{100}\times 7.5 = 7.5\text{千乏}.$$

从公式(7-33)得(注意单位)

$$\Delta P_b = \frac{0.08^2+0.0705^2}{10^2}\times 22.5\times 10^3+0.66$$

$$=2.56+0.66=3.22\text{瓩};$$

$$\Delta Q_b = \frac{0.08^2+0.0725^2}{10^2}38.9\times 10^3+7.5$$

$$=4.43+7.5=11.93\text{千乏}.$$

(3)利用公式(7-40)得电压损失

$$\Delta U = \frac{0.08\times 22.5+0.0705\times 38.9}{10} = 0.454\text{千伏}.$$

如用額定电压的百分数表示:

$$\Delta U\% = \frac{0.454}{10}\times 100 = 4.54.$$

利用公式(7-44)也可得同样結果

$$\Delta U\% = \frac{80}{100}2.25+\frac{70.5}{100}3.89 = 4.54.$$

7-5 电力网的潮流分布計算

設計电力网时需要計算潮流分布，有了潮流分布，就可算出电力网的电压水平和电能损失。規划中的潮流分布計算可以忽略

綫路功率损失的影响，如有必要，再把功率损失加到計算出的潮流分布中去。

輻射形电力网的潮流分布計算是很方便的，例如在图 7-5 中綫路bd及bc上的潮流显然分别为 d 点和 c 点的負荷。綫路ab上的潮流则为 b、c、d 三点負荷的总和，即 $(P_b+P_c+P_d)-j(Q_b+Q_c+Q_d)$。

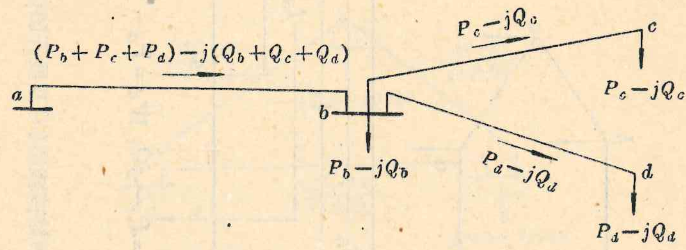


图 7-5 輻射形电力网潮流分布計算图

环形电网的潮流計算，比較复杂。由于农村电力网中采用环形供电是很少的，这里是介紹只有一个环的电力网的計算公式。

为計算方便起見，将图7-6(a)的閉式电网展开成图7-6(b)的形状，即将供电电源点f分成二点f'及f''。在作供电規划时，导綫截面通常是待求的未知数，潮流分布計算可用綫路的長度来进行。从电源点流向 a 点的功率W_{fa}(在图7-6(b)中是$W_{f'a}$)等于

$$\dot{W}_{fa} = \frac{\dot{W}_e l_1+\dot{W}_d l_2+\dot{W}_c l_3+\dot{W}_b l_4+\dot{W}_a l_5}{l}. \quad (7\text{-}45)$$

这个計算公式同力学中的杠杆定律相似，f'' 相当于杠杆的支点，負荷相当于重点，綫路始端的功率 W_{fa}相当于力点。如果負荷多于5个，計算公式按此原理类推。如果其中一点負荷点(例如点 c)实际上是电源点，也就是点 c 向系統送电，则在公式7-45中，$\dot{W}_c$ 的前面应冠以負号。求电源点流向 e 点的綫路功率时，可利用同样原理，此时 f' 变成支点，f'' 点成为力点。公式7-45的分子中，$\dot{W}_a$应乘$f'a$之長度，$\dot{W}_b$应乘 $f'b$之長度，余此类推。如果計算出来的$\dot{W}_{fa}$与 $\dot{W}_{fe}$ 之和等于全部負荷之和，証明計算的結果是正确的。

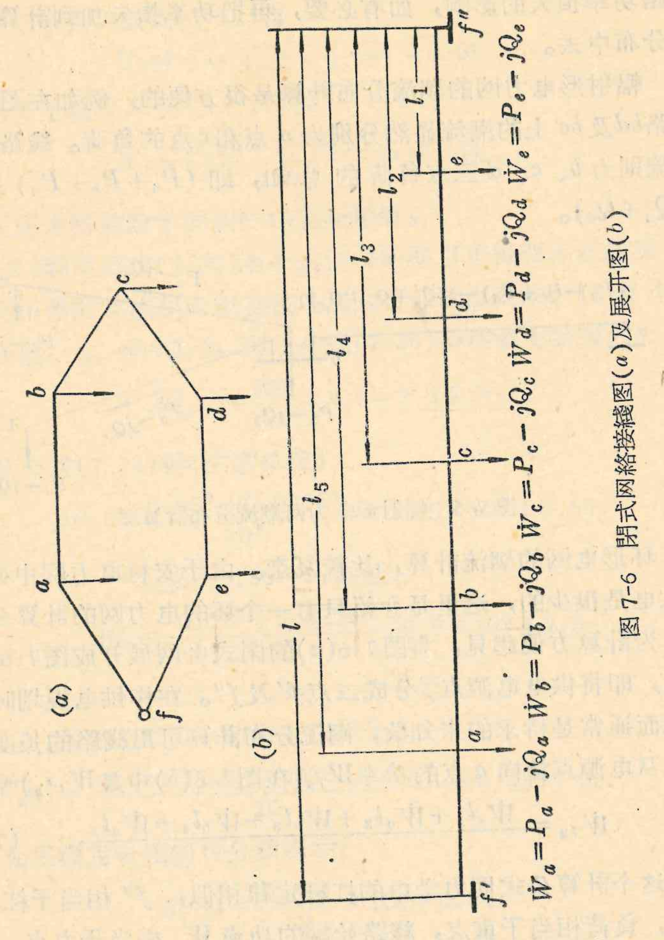


图 7-6 閉式网絡接綫图(a)及展开图(b)

如果已知綫路的电阻和电抗，潮流分布可用和公式7-45完全相似的公式7-46进行概略的計算。

$$P_{fa}=\frac{P_e x_1+P_d x_2+P_c x_3+P_b x_4+P_a x_5}{x},$$

$$Q_{fa}=\frac{P_e r_1+P_d r_2+P_c r_3+P_b r_4+P_a r_5}{r},\qquad (7\text{-}46)$$

式中 r_1、r_2、r_3、r_4、r_5、r 和 x_1、x_2、x_3、x_4、x_5、x 相应于图7-6(b)中距离为 l_1、l_2、l_3、l_4、l_5、l 中的全部电阻和电抗。

环形电网潮流分布，用复数进行計算可得比較准确的結果，此时(原理同公式7-45)

$$\dot W_{fa}=\frac{\dot W_e\dot Z_1+\dot W_d\dot Z_2+\dot W_c\dot Z_3+\dot W_b\dot Z_4+\dot W_a\dot Z_5}{\dot Z},\qquad (7\text{-}47)$$

例：有一35千伏环形电网，負荷(千伏安)距离(公里)和导綫截面如图7-7a所示，导綫的几何均距为3米，試求其功率分布。

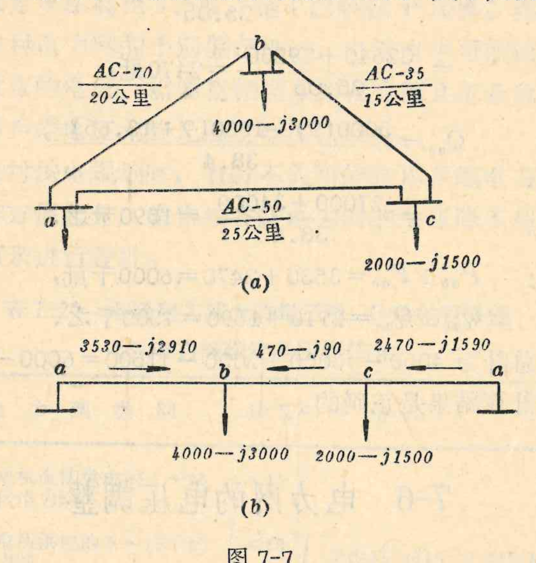


图 7-7

解：把环形电网展开成图7-7b 的形式，查表 7-1，得每段綫路每公里阻抗值。

各綫段阻抗为

$$Z_{ab}=(0.45+j0.408)20=9+j8.16,$$

$$Z_{bc}=(0.91+j0.429)15=13.65+j6.44,$$

$$Z_{ca}=(0.63+j0.418)25=15.75+j10.45。$$

利用公式7-46得

$$P_{ab}=\frac{2000(10.45)+4000(6.44+10.45)}{8.16+6.44+10.45}$$

$$=\frac{20900+67560}{25.05}=3530\text{瓩},$$

$$Q_{ab}=\frac{1500(15.75)+3000(15.75+13.65)}{9+13.65+15.75}$$

$$=\frac{23600+88200}{38.4}=2910\text{千乏}.$$

相似的可得

$$P_{ac}=\frac{4000(8.16)+2000(8.16+6.44)}{25.05}$$

$$=\frac{32640+29200}{25.05}=2470\text{瓩},$$

$$Q_{ac}=\frac{3000(9)+1500(9+13.65)}{38.4}$$

$$=\frac{27000+34000}{38.4}=1590\text{千乏}.$$

驗算：$P_{ab}+P_{ac}=3530+2470=6000$千瓩，

$Q_{ab}+Q_{ac}=2910+1590=4500$千乏。

負荷总計为 $4000-j3000+2000-j1500=6000-j4500$

所以計算結果是正确的。

7-6 电力网的电压調整

1.概　述

由于电网内負荷的变动，引起用戶端电压的变动。网絡內某一点电压的实际值与网絡額定电压值的代数差我們称之为"电压偏移"。电压偏移一般以网絡額定电压值的百分值表示，也可以用伏数表示。电压偏移对用电設备的工作情况有直接的影响，如对照明的电灯，当网絡电压为額定时，其功率、光通量及寿命均为100%，当电压偏移为±1%时，其功率变化±1.5%，光通量变化±3.5%，寿命变化∓13%，所以电压过高，灯泡的寿命将大大減少，甚至燒毀。电压过低則灯光发暗。同样，由于电动机运行的轉矩与电压的平方成正比，因此当电压降低时，带有恆定負荷的电动机可能停止运轉。当电压升高时，电动机会发生过

热，加速絕緣老化，影响使用寿命。

因此，用戶端的电压偏移不能超出允許范圍。

2.电力网允許的电压偏移和电压降

一般认为，在农村电力用戶用电設备端点上的电压，不应当比电力网額定电压高出7.5%，也不应該低于10%。在特殊情况下，例如农村电力网的个别偏远地区，电压水平可能較低。如改善这些少数点的电压，需要花相当多的投資而且远景負荷发展不大时，則用戶端电压允許比額定电压低15%。

在作农村供电規划时，有时不大可能把用戶端电压計算出来。为工作方便起見，常常按各級电力网的电压降不超过表7-22中所列数値来进行設計。

表7-22　各級电力网允許电压降 $\Delta U\%$ 的百分値

（以电力网額定电压作基准）

編号	电力网类別	$\Delta U\%$	备　注
1	由发电机直接供电的6～10千伏电力网	≤15	
2	由变电所供电的6～10千伏电力网	≤10	当由35(60)千伏与10(6)千伏二級电压供电时，总电压降不得超过15%
3	35～60千伏电力网	≤10	

上述电压降是在发电机母綫或35(60)千伏电力綫路的送端电压不随負荷变化的情况下作出的，如果这些电压能够进行逆調压，即在最小負荷时降低电压，最大負荷时提高电压，那么可以根据逆調压的数値，农村負荷变化与逆調压方式的配合程度，适当增加允許电压降。如果电力网的电压降太大，不能保証用戶端点的电压时，应該考虑装設調压装置。

3.調压方式

在規划中，应該首先考虑調整农村发电厂中发电机的电压和

改变变压器的分接头来改善电力网的电压水平。如果采取这些措施后，仍然不能保証必要的电压水平，就需要采用調压設备。常用的調压設备有下列几种：

（1）在电力綫路上串联电容器；

（2）采用带負荷調压变压器；

（3）采用加压調压器；

（4）在变电所或用戶处装設并联电容。

4.农村发电厂內发电机电压的調整

調整发电机的电压有二种方式：

（1）保持恆定电压，即不論負荷的如何变化，发电机的电压都保持不变；

（2）采用逆調压，即随着負荷的增长发电机的电压也作适当的提高。

发电机电压的变化范圍一般規定为不大于发电机額定电压的±5%（发电机的額定电压比电力网的額定电压要高5%，归算到网絡的額定电压，其电压偏移范圍約在+10～0%之間）。

5.变压器分接头的选擇

改变变压器的分接头，就能提高或降低变压器二次側的电压水平。例如，一个35±2×2.5%/11千伏变压器，在空載情况下35千伏側加一35千伏电压。如果这个电压加在35千伏这一主接头上，变压器的二次側将出現11千伏电压；如果加在35+2×2.5千伏这一分接头上，二次側电压就为10.48千伏。恰当地选擇分接头，就有可能获得需要的电压水平。

普通的变压器不能在带負荷情况下操作分接头。它将长期运行在一个分接头上，因此由于負荷昼夜变化引起的电压总偏差不会因分接头的选擇而变化。这时选擇分接头的目的，是当电压总偏差在允許范圍內时保証变压器二次側的电压水平（或电压偏差）在允許范圍以內。当負荷作季节性变化时，电压水平可能有很大

的变化，这时必須把变压器暂时停止运行，另换一个合适的分接头。下面介紹变压器分接头的选擇方法：

（1）降压变压器分接头选擇

降压变电所在最大和最小負荷时，变压器高压側的实际电压分別为U_1'和U_1''，最大和最小負荷时变压器中的电压损失分別为$\Delta U'$和$\Delta U''$；两种情况下变电所低压母綫上要求的电压值为U_2'，U_2''，高压分接头用U_{jt}表示，低压側通常只有一个接头，用$U_{d.y}$来表示它的电压，则在最大負荷和最小負荷时应該选擇的相应的分接头为

$$U'_{j.t}=(U_1'-\Delta U_T')\frac{U_{d.y}}{U_2'}, \quad (7\text{-}48)$$

$$U''_{j.t}=(U_1''-\Delta U_T'')\frac{U_{d.y}}{U_2''}, \quad (7\text{-}49)$$

$U'_{j.t}$和$U''_{j.t}$通常是不等的，但对普通变压器，又不能在带負荷情况下变换分接头，因此采用它們的平均值（$U_{j.t}$）作为应选擇的分接头。

$$U_{j.t}=\frac{U'_{j.t}+U''_{j.t}}{2} \quad (7\text{-}50)$$

根据式7-50求出的$U_{j.t}$，从变压器規范中选擇一个最接近的标准分接头，然后按所选定的分接头加以校驗。

（2）发电厂升压变压器分接头选擇

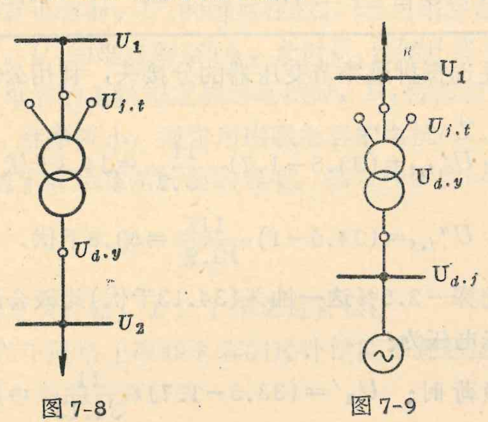


图7-8　　图7-9

一般发电机的电压偏移在±5%以内，当发电机經变压器接入电网时，不致因电网电压的要求而使发电机端的电压偏移超出容許的范圍，故必需选擇相当的变压器分接头加以配合。与上述降压变压器分接头选擇原理相似，在最大与最小負荷情况下，变压器分接头的电压各为(見图7-9)

$$U'_{j.t}=(U_1'+\Delta U_T')\frac{U_{d.y}}{U_{d.j}}, \qquad (7\text{-}51)$$

$$U''_{j.t}=(U_1''+\Delta U_T'')\frac{U_{HH}}{U_{d.j}}, \qquad (7\text{-}52)$$

式中 $U_{d.y}$——发电机电压，如上所述，它的变化范圍为±5%。取$U'_{j.t}$和$U''_{j.t}$的平均值，然后选擇一个电压与平均值相近的标准分接头。

例：一个35千伏±2×2.5%/11千伏降压变电所，在排灌期間与非排灌季节其电压情况如表7-23所示，二次侧电压要求在10.9～10.2千伏之間变化，試选擇变压器的分接头。

表 7-23

名　　称	排灌季节		非排灌季节	
	最大負荷	最小負荷	最大負荷	最小負荷
变压器高压側电压(千伏)	33.5	34.5	35	36
变压器电压降(千伏)	1.7	1.0	0.8	0.3

解：先选擇排灌季节变压器的分接头，利用公式7-44和公式7-45得

$$U'_{j.t}=(33.5-1.7)\frac{11}{10.2}=34.3\text{千伏},$$

$$U''_{j.t}=(34.5-1)\frac{11}{10.9}=33.8\text{千伏}.$$

显然选擇－2.5%这一抽头(34.13千伏)比較合适的，这时二次側的实际电压为：

最大負荷时：$U_2'=(33.5-1.7)\frac{11}{34.13}=10.21$千伏；

最小負荷时：$U_2''=(34.5-1)\frac{11}{34.13}=10.78$千伏；

非排灌季节时，分接头的数值应該是：

$$U'_{j.t}=(35-0.8)\frac{11}{10.2}=36.9\text{千伏},$$

$$U''_{j.t}=(36-0.3)\frac{11}{10.9}=36\text{千伏}.$$

可以选擇＋5%这一分接头(36.75千伏)，这时二次側的实际电压应为：

最大負荷时：$U_2'=(35-0.8)\frac{11}{36.75}=10.22$千伏；

最小負荷时：$U_2''=(36-0.3)\frac{11}{36.75}=10.69$千伏.

6.串联电容器

(1)串联电容的原理与作用

架空綫路中的电压損失有一部分是由电抗造成的。为了补偿架空綫路中的电压損失，可以采用改变綫路电抗的办法来达到。綫路上串联电容就是利用这个原理来达到調压的目的。

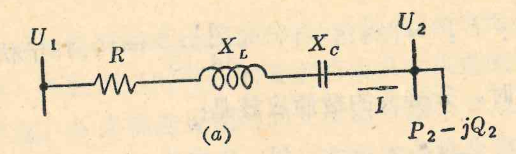
由图7-10中向量图清楚地看出串联电容对調整电压的作用。綫路上沒有串联电容时，U_1的端点在a点，当用串联电容部分补偿綫路电抗时，U_1的端点移至b点，此时U_1显然比沒有补偿时小了。如果串联电容的电抗超过綫路电抗时，U_1将移至c点，在图示情况下，U_1继續减小，通常用串联电容的电抗(X_c)与綫路电抗(X_L)的比值来表示綫路补偿的程度，謂之补偿度(D)，即

$$D=\frac{X_C}{X_L}, \qquad (7\text{-}53)$$

$D<1$謂之欠补偿，$D>1$謂之过补偿。

110千伏以下綫路上串联电容的过补偿度不宜超过4。

(2)串联电容的計算公式



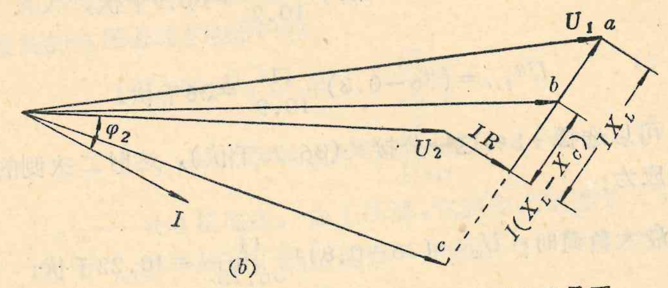


图 7-10　具有串联电容的电力綫路的等值图和向量图

計算綫路上需要串联多少容量时，須先用公式7-54求出綫路上需要补偿多少电抗X_C(利用图7-10)

$$X_C=X_L+kQ_2-\sqrt{(kQ_2)^2-k(U_2{}^2-U_1{}^2+2Pr)-r^2},\tag{7-54}$$

式中

$$k=\frac{U_2{}^2}{P_2{}^2+Q_2{}^2},$$ U用千伏，P_2、Q_2用千瓩和兆乏表示，再求出負荷电流 $I=\dfrac{\sqrt{P_2{}^2+Q_2{}^2}}{\sqrt{3}U_2}$。

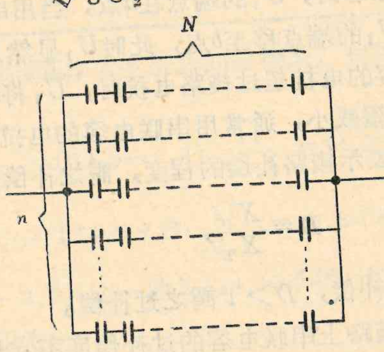


图 7-11　串联电容連接示意图

串联电容需要并联的回路数(見图7-11)

$$n'=\frac{I}{i},\tag{7-55}$$

式中　i——单个串联电容的額定电流。

n'应为整数，如有小数应进位为整数，此整数令为n。

串联电容的串联数应为

$$N'=\frac{X_C}{x_C/n}=\frac{X_Cn}{x_C},\tag{7-56}$$

式中　x_C——单个串联电容的电抗值；

X_C——式7-54中求出的所需串联电容的数值；

N'应为整数，如有小数，应进位为整数，此整数令为N。

串联电容的实际安装容量

$$Q_C=3nNq_C,\tag{7-57}$$

式中　q_C为单个电容器的額定容量。

实际补偿的X_C值为

$$X_C=N\frac{x_C}{n}.\tag{7-58}$$

我国西安电容器厂目前生产的串联电容器的规范如表7-24所示。

表 7-24　串联电容器規范表

型　号	額定电压 (伏)	額定容量 (千乏)	額定电容 (微法)	工作頻率 (赫)	外型尺寸(公厘) 长	寬	高	重量 (公斤)	訂价 (元/台)
CY0.6-50-1	600	50	442	50	646	126	1200	150	800

注：型号表示的意义：C—串联，Y—油浸。
CY型电容器，可在周圍环境温度为−40°～+35°C海拔高度不超过 1000 米的环境中长期工作。

由計算可知，这种电容器的額定电流为83.4安，50赫时的电抗为7.2欧。

具有串联电容的綫路，当过补偿度較大时，計算电压不仅需

要考虑电压降的纵分量，还需要考虑电压降的横分量，这时电压的計算公式如下：

$$U_1=\sqrt{\left[U_2+\frac{P_2R+Q_2(X_L-X_C)}{U_2}\right]^2+\left[\frac{P_2(X_L-X_C)-Q_2R}{U_2}\right]^2}. \qquad (7\text{-}59)$$

公式7-59是在已知U_2、P_2和Q_2情况下写出的，如果知道的是U_1、P_1和Q_1，则U_2的計算如下：

$$U_2=\sqrt{\left[U_1-\frac{P_1R+Q_1(X_L-X_C)}{U_1}\right]^2+\left[\frac{P_1(X_L-X_C)-Q_1R}{U_1}\right]^2}. \qquad (7\text{-}60)$$

例： 从某一变电所接出一条35千伏綫路，綫路长度(公里)送端实际电压(千伏)負荷(千伏安)导綫截面和綫路阻抗(欧)如图7-12所示。

a 35千伏　AC-50　50公里　$Z=31.5+j21.0$　b　$4000-j3000$

图 7-12

經过計算，末端b点电压只有29.6千伏，显然不能滿足要求，希望把b点电压提高至33千伏，需要多少串联电容。

解：利用公式7-54求X_C，

先求出 $k=\frac{33^2}{4^2+3^2}=43.6$，

$$X_C=21+43.6\times3-\sqrt{(3\times43.6)^2-43.6(33^2-35^2+2\times4\times31.5)-31.5^2}$$

$$=21+130.8-\sqrt{17100-5060-9.92}$$

$$=151.8-105.1=46.7\text{欧}.$$

負荷电流为：

$$I=\frac{\sqrt{4^2+3^2}}{\sqrt{3}\ 33}=0.0875\text{千安}=87.5\text{安}.$$

用我国出产的CY0.6-50-1串联电容，其額定电流为83.4安，电抗为7.2欧，每相串联电容的并联个数应为（利用公式7-55)

$$n'=\frac{87.5}{83.4}=1.05\text{个},$$

实际上需要采用2个，每相所需串联数为(公式7-56)：

$$N'=\frac{46.7\times2}{7.2}=12.97\text{个},$$

每相应串联13个电容器。

綫路上串联电容的总容量为：

$$Q_C=3\times2\times13\times50=3900\text{千乏}.$$

实际补偿的电抗为：

$$X_C=\frac{7.2}{2}\times13=46.8\text{欧}.$$

本例中串联电容的容量較大，这是由于負荷电流略大于单个电容器的額定电流，需要多并联一組电容器的緣故。

經过串联电容补偿后b点的实际电压可由公式7-59求出。

$$35^2=\left[U_b+\frac{4\times31.5+3(21-46.8)}{U_b}\right]^2+\left(\frac{4(21-46.8)-3\times31.5}{U_b}\right)^2,$$

$$1225=\left[U_b+\frac{49.2}{U_b}\right]^2+\left(\frac{197.7}{U_b}\right)^2$$

$$=U_b^2+2\times49.2+\left(\frac{49.2}{U_b}\right)^2+\left(\frac{197.7}{U_b}\right)^2,$$

$$U_b^2-1127+\frac{36680}{U_b^2}=0,$$

$$U_b^4-1127U^2+36680=0,$$

$$U_b^2=\frac{1}{2}\ (1127+\sqrt{1127^2-4\times36680}\ )$$

$$=1094,$$

$$U_b = 33.1\text{千伏}.$$

如果不考虑电压降的横分量，b点的电压为 33.5 千伏。电压損失由1.9千伏变成1.5千伏，对計算串联电容的影响頗大。

上面已經説过，本例中串联电容没有充分利用。如果增加补偿度，提高b点电压至35千伏，負荷电流减少了，每相只需一組串联电容，綫路上串联电容的总容量只有1650千乏，不过补偿度将增至3.7倍左右，对继电保护的影响比前一种方案大了。

7.带負荷調压变压器和加压变压器

这二种变压器的原理是一样的，它們的特点都是能在带負荷的情况下改变分接头，不但可使由負荷变化而引起的电压变化得到了补偿，并可获得逆調压的效果。即在电力网最大負荷时，电力网的电压水平較低，但在改变調压变压器的变化后，变压器二次側的电压升高，由变压器供电的电力网的电压得到提高；在电力网最小負荷时，电压損失减小，电力网的电压水平普遍升高(比最大負荷时高)。这时，再調整变压器的分接头，就可以降低二次側的电压，降到比最大負荷时的电压还要低，这样，在大多数情况下，变压器二次側电力网可以按經济原則进行設計，不致因受到电压降和电压偏移等技术条件的限制而增加額外投資；这是采用調压变压器和加压变压器的优点。它的缺点是經常需要操作，对变化极为迅速的負荷引起的电压偏差无法調整，且多了調压部分增加了投資。目前我国生产的調压变压器的数量較少，无完整資料。兹将苏联資料列在表7-25中。

带負荷調压变压器实际上是普通变压器再加一个調压装置，其原理接綫图如图7-13所示。調压的范圍一般是±10%，有四个或八个抽头，每个抽头調整的电压为5%或2.5%。

加压变压器可以串联在綫路上，也可以和普通变压器串联，用来調整綫路或变压器二次側的电压，它的原理接綫图如图7-14所示。

从图可知，加压变压器通过負荷电流，但是它的綫圈的端电

压并不等于綫路电压，而等于需要調整的电压，因此它的实际容量比它的額定容量要小得多，等于需要調压的电压与綫路額定电压之比，通常所謂加压变压器的容量是指它的額定容量。

表 7-25　苏联出产的普通变压器与带負荷調压变压器价格对照表

(单位：卢布)

变压器的参数(千伏安/千伏)		普通变压器价格	带負荷調压变压器价格
双卷	750/10	1190	3260
双卷	1000/10	1490	3590
双卷	560/35	1100	3400
双卷	1000/35	1690	4580
双卷	1800/35	2450	5140
双卷	3200/35	3370	7000
双卷	10000/35	6920	11000
双卷	15000/35	8800	13900
双卷	20000/35	10400	15600
双卷	10000/110	11000	18900
双卷	15000/110	13500	23000
双卷	20000/110	16300	25600
双卷	31500/110	19800	33000
三卷	10000/110	16200	23200
三卷	15000/110	19600	27500
三卷	20000/110	22800	32000
三卷	31500/110	30830	39760
三卷	40500/110	32000	37850

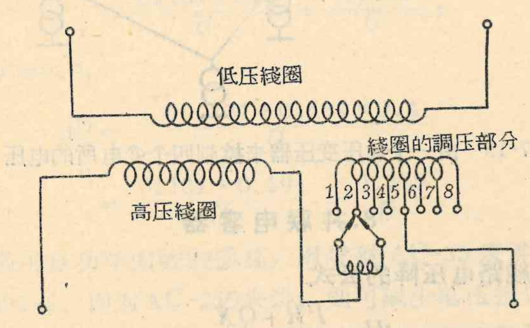


图 7-13　带負荷調压变压器的原理接綫图

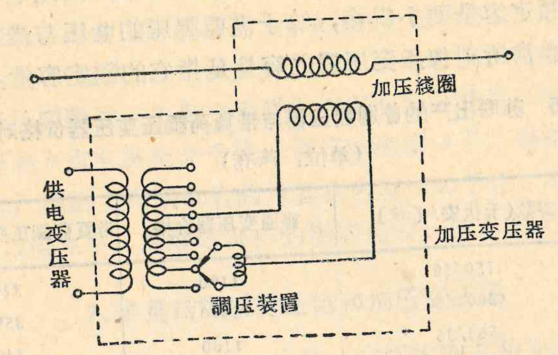


图 7-14 升压变压器的原理接綫图

从調整变电所二次側的电压来看，采用带負荷調压变压器显然要比加压变压器便宜，但是如果变电所初期負荷較小，不需要調压装置，可以先装設普通变压器，待負荷上漲后，再加一台加压变压器来調整电压。由于推迟了投資的时間，在經济上可能是有利的。加压变压器一般串联在綫路上，把同一电压的电力网分成二个部分，使这二部分电力网的电压变动彼此不受影响。这样，用一个加压变压器往往可以代替几个变电所中装設带負荷調压变压器，如图7-15所示。这是加压变压器的优点。

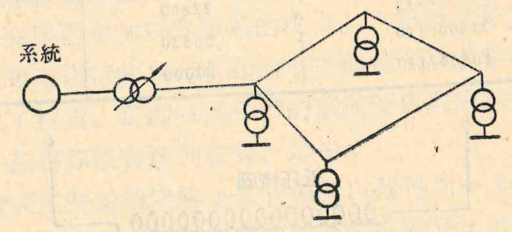


图 7-15 由一个加压变压器来控制四个变电所的电压

8.并联电容器

从計算綫路电压降的公式

$$\Delta U=\frac{PR+QX}{U}$$

可知，改变受端的无功功率 Q，可以改变綫路电压損失；因此，在农村电力网負荷功率因数較低的情况下，可以借补償負荷的无功負荷提高功率因数来达到調压的作用。在农村电力网中提高功率因数的办法以装設静电电容器較为有利。必須指出，并联电容器調整电压的效果，与綫路导綫截面有很大关系。导綫截面小，調压效果就差；导綫截面大，調压效果就大。例如：1 公里的导綫，截面各为AC-35及AC-240，傳輸的功率为 1 个单位，当其功率因数由 0.8 提高到 0.9 时，两种截面导綫所引起的电压損失如下：

1) AC−35，当$\cos\varphi=0.8$，

$$\Delta U=\frac{1\times0.91+0.75\times0.43}{U}=\frac{0.91+0.315}{U}=\frac{1.225}{U};$$

当$\cos\varphi=0.9$，

$$\Delta U=\frac{1\times0.91+0.484\times0.42}{U}=\frac{0.91+0.203}{U}=\frac{1.113}{U}.$$

2) AC-240，当$\cos\varphi=0.8$，

$$\Delta U=\frac{1\times0.131+0.75\times0.4}{U}=\frac{0.131+0.3}{U}=\frac{0.431}{U};$$

当$\cos\varphi=0.9$，

$$\Delta U=\frac{1\times0.131+0.484\times0.4}{U}=\frac{0.131+0.194}{U}=\frac{0.325}{U}.$$

由上例可見功率因数的提高，对导綫 AC-35 来讲，可减少电压損失約9%；而对AC-240来讲，則可减少电压損失約25%。所以用并联电容器来提高电压水平时，其效益随不同的导綫截面

而变化。

并联电容器在装設时可分成几組，当負荷减小时，可切除一部分电容器，达到减小电压总偏移的目的。

9.几种調压方式的比較

調压变压器(包括带負荷調压变压器和加压变压器)的最大优点是它的調压作用，不受电力网参数和負荷变化的影响，而且还能进行逆調压，有可能降低6～10千伏电力网的造价。当区域电力系統的电压质量不能滿足要求时，采用加压变压器将农村电力网和区域电力网分成二个部分，这是提高农村电力网电压质量的一个根本办法，可以认为采用調压变压器来提高电压质量是今后的一个方向。調压变压器的缺点是需要經常的手动操作，需要良好的工艺加工，才能保証置换分接头的机械部分可靠地工作。此外調压变压器不能調整負荷迅速变化的用戶的电压。

串联电容器的优点是不需要操作，能自动地提高电压水平，减少电压波动，供給一定的无功容量；对提高現有綫路的輸电能力来讲，是一个簡单經济的措施，而且設备也容易获得。对于电压降超过20～30%以上的綫路和負荷迅速变化的綫路，只有采用串联电容才能获得經济有效的效果。但是串联电容一般不能获得逆調压，并且調压效果随着电力网的参数而变化。功率因数愈大，导綫截面愈小，它的效果愈差。当功率因数等于1时，串联电容基本上不起作用。同时串联电容对继电保护要增加一些困难。

采用并联电容的最大优点是提供无功容量，减少綫路損失。当負荷减小时，如能采用分組切除电容器，亦能减小电压偏移，它的缺点是随着截面的减少，其效果也减少。从調压的角度来讲，并联电容所需的容量在一般情况下要比串联电容多，但并联电容能节約电能損失，所以究竟采用哪一方案，有时还需經过經济比較来决定。

各种調压方式各有优缺点，彼此有相輔相成的作用。在設計电力网时，有时可能需几种調压方式配合使用才能滿足要求。因此，选擇調压方式最好經过詳細技术經济分析来决定。

7-7 电力网的无功补偿

1.概　述

农村电力用戶采用的电气設备主要是感应电动机，感应电动机在运行时需要吸收无功功率，成为农村电力网无功功率的主要用戶；此外，綫路和变压器也消耗无功功率。在日常用語中，一般不說用戶消耗多少无功功率，常說用戶負荷是多少瓩和功率因数($\cos\varphi$)是多少。因为功率因数的大小和无功功率之間有一定关系，功率因数低，无功功率需要量就大，反之，需要較少的无功功率。因为

$$\cos\varphi=\frac{P}{\sqrt{P^2+Q^2}}. \tag{7-61}$$

用电設备功率因数偏低将导致下列后果：

1)电气設备不能充分利用　变压器和发电机都有一定的額定容量，在通过一定的有功負荷时，如降低功率因数，将引起流过这些設备的电流超过它們的額定值，为了不致損坏設备，必須降低通过的电流，也就是降低了設备的供电能力，不能充分发揮其作用。

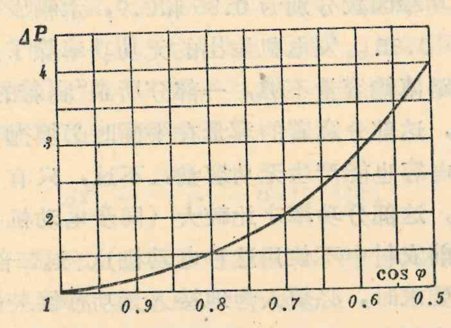


图7-16　功率損失和功率因数的关系

2)增加损耗，降低效率　綫路的功率损失与通过电流的平方成比例，在輸送同样的有功功率时，功率损失将随功率因数的降低迅速增长，如图7-16所示(图中以$\cos\varphi=1$时的功率损失为1)。

3)增加綫路电压降，限制綫路傳輸能力　当輸送有功功率一定时，功率因数减低会使无功电流增加，引起綫路变压器中电压损失的增加，从而使电网电压质量变坏，或被迫减少綫路傳輸容量。

从上可知，功率因数过低，对电力网的运行是很不利的。过低的功率因数必須調整，其方法有自然調整及人工調整二种。自然調整功率因数就是在农村电力网中提高电动机的利用率，避免作空載和輕負荷运行，在可能的地方采用同步电动机等。人工調整功率因数，就是在用戶处或变电所装設无功补償設备（农村用常用的为靜电电容器）直接供給用戶所需无功功率，避免远距离的輸送。安装补償設备会增加投資，所以应首先采用提高自然功率因数的方法。

2.电力系統的无功平衡

用戶所需的和电力网中损失的无功功率必須由电力系統中的无功电源供給，否則电力系統不能正常运行。电力系統中主要的无功电源是发电机，它能提供的无功容量由它的額定容量和額定功率因数来决定。一般汽輪发电机的功率因数为0.8，5万瓩和10万瓩发电机的功率因数分别为0.85和0.9，水輪发电机的功率因数一般为0.8～0.85。发电机发出的无功功率除了受本身容量限制外，由于綫路傳輸容量不够，一部分所謂“窩着的”无功功率不能送到系統中，这部分窩着的容量在平衡时必須抛弃。除了发电机外，綫路的电容也能产生无功容量，不过，只有110千伏及以上电压的綫路，这部分功率才比較大（同步电动机也可以提供无功容量，但目前农村中不使用这种电动机）。这二部分无功功率不能滿足系統要求时，必須人为地接入无功补償装置，在作規划时，无功功率也要象有功功率一样需要进行平衡，并滿足公式7-62的要求。

$$Q_{f.d}+Q_{x.l}+Q_{b.zh}\geqslant Q+\Delta Q, \tag{7-62}$$

式中　$Q_{f.d}$——发电机在額定容量时能发出的无功功率。要扣去“窩着的”无功容量；

$Q_{x.l}$——綫路产生的无功功率；

$Q_{b.zh}$——补償装置发出的无功功率；

Q——无功負荷；

ΔQ——电力网的无功损失。

为了保証电力网的正常运行，最好能有6～7%的无功备用容量。

由无功平衡計算出来的无功容量是系統中最低限度的必需容量，但不一定是最經济的容量。在很多情况下，宁愿在受端装設补償装置，而不让綫路上輸送过大的无功功率，不过这种做法必須要用技术經济加以証明。

3.无功功率的經济当量

改变电力网中某一点的无功功率，会引起电力系統中其他有关的綫路、变压器和发电机中流过的电流变化。例如在图7-17中，在T_5的高压側装設电容器，不仅在T_4与T_5間綫路上流过的无功功率将减少，而且流过发电机，变压器T_1、T_2、T_4及其間綫路的无功电流亦将减少。在經济計算中，計算由无功功率减少而引起T_4与T_5間綫路上减少的有功损失是比較容易的，但要求出其他部分减少的有功损失(从发电机到T_4)比較困难。为解决这一問題，我們利用无功功率經济当量这一概念。它的計算公式的求法如下：系統中有功功率损失为

$$\Delta P_1=\frac{P^2+Q^2}{U}R\cdot 10^{-3}\text{瓩},$$

式中　P,Q——輸送的有功和无功功率，(千伏安)；

U——系統的綫电压，(千伏)；

R——系統的电阻，(欧)。

当系統中安装了容量为 Q_c 千乏的补偿装置后，系統中的有功功率損失就等于

$$\Delta P_2 = \frac{P^2 + (Q - Q_c)^2}{U^2} R \cdot 10^{-3} \text{瓩},$$

由此求得 1 千乏补偿装置能减少系統中有功損失的数值

$$T = \frac{\Delta P_1 - \Delta P_2}{Q_c} = \frac{2Q - Q_c}{U^2} R \cdot 10^{-3} \text{瓩/千乏}. \quad (7\text{-}63)$$

当Q_c比起Q来頗小时，上式中的值将接近于

$$T_{j.j} = \frac{2Q}{U} R \cdot 10^{-3} \text{瓩/千乏}. \quad (7\text{-}64)$$

$T_{j.j}$称为无功功率經济当量，电力网无功功率經济当量的平均值如图7-17所示。

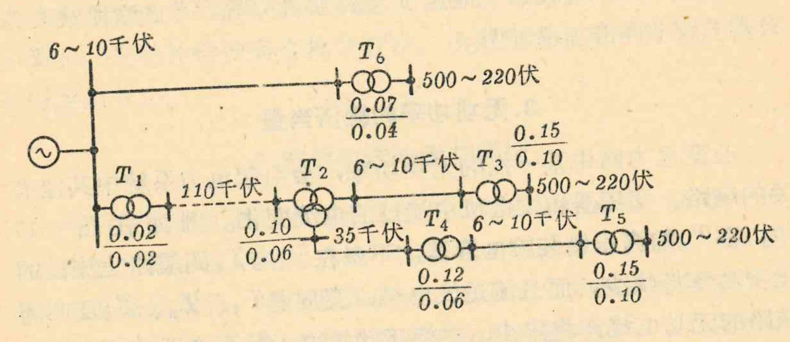


图 7-17 电力系統的无功功率經济当量

图中分母是最大負荷时的$T_{j.j}$值，分子是最小負荷时的$T_{j.j}$值。$T_{j.j}$值随着系統結构的不同而异，在設計时最好应用本系統求出的$T_{j.j}$值。

我国西安电力电容器厂目前生产的并联电容器的規范如表7-26所示。

表 7-26 并联电容器規范表

型号	額定电压 (伏)	額定容量 (千乏)	額定电容 (微法)	工作頻率 (赫)	外型尺寸(毫米) 长	寬	高	重量 (公斤)
YY0.23-5-3	230	5	301	50	380	110	425	23
YY0.4-7-3	400	7	140	50	380	110	425	23
YY0.4-9-3	400	9	180	50	380	110	425	23
YY0.4-10-3	400	10	200	50	380	110	425	23
YY3.15-10-1	3150	10	32	50	380	110	455	23
YY3.15-12-1	3150	12	387	50	380	110	455	23
YY3.15-14-1	3150	14	452	50	380	110	455	23
YY6.3-10-1	6300	10	0.801	50	380	110	490	24
YY6.3-12-1	6300	12	0.96	50	380	110	490	24
YY6.3-14-1	6300	14	1.12	50	380	110	490	24
YY10.5-10-1	10500	10	0.29	50	380	110	545	25
YY10.5-12-1	10500	12	0.35	50	380	110	545	25
YY10.5-14-1	10500	14	0.46	50	380	110	545	25
YY3.15-25-1	3150	25	8	50	315	145	978	62
YY6.3-25-1	6300	25	2	50	315	145	978	62
YY10.5-25-1	10500	25	0.725	50	315	145	1031	62
YY6.3-35-1	6300	35	2.8	50	490	252	745	94
YY10.5-35-1	10500	35	1.02	50	490	252	770	94
YYW3.15-12-1	3150	12	3.87	50	380	110	475	25
YYW6.3-12-1	6300	12	0.96	50	380	110	520	25
YYW10.5-12-1	10500	12	0.35	50	380	110	545	25
YYW3.15-22-1	3150	22	7.1	50	315	145	975	62
YYW6.3-22-1	6300	22	1.76	50	315	145	1035	62
YYW10.5-22-1	10500	22	0.64	50	315	145	1055	62
YY0.23-5-3-TS	230	5	301	50	380	110	450	23
YY0.4-7-3-TS	400	7	140	50	380	110	450	23
YY0.4-9-3-TS	400	9	180	50	380	110	450	23
YY3.15-9-1-TS	3150	9	2.88	50	380	110	475	23
YY3.15-10-1-TS	3150	10	3.22	50	380	110	475	23
YY6.3-9-1-TS	6300	9	0.722	50	380	110	520	24
YY6.3-10-1-TS	6300	10	0.8	50	380	110	520	24
YY10.5-9-1-TS	10500	9	0.26	50	380	110	545	25
YY10.5-10-1-TS	10500	10	0.29	50	380	110	545	25

注：1.型号表示的意义第一字母Y为移相电容器，第二字母Y为油浸式，第三个字母W为戶外装置；第一数字为額定电压千伏，第二数字为額定容量千乏，第三数字为相数；字母T为热带，字母S为亚湿。
2.各类型电容器适用于周圍环境温度：
(1)戶內装置为自−30°至+40°C，(2)戶外装置为自−30°至+45°C。
海拔不高于1000米，相对湿度不大于80%的地区。

7-8 三相短路电流計算

1.概　述

如果需要大致地确定开关設备的規范，就需要計算短路电流。不过在規划阶段，一般对設备不作詳細的选择，而留待具体工程設計中去解决。所以在作規划时，一般只計算零秒三相短路的周期性分量。下面介紹它的計算方法。

2.三相短路电流的計算方法

（1）首先根据系統接綫图画出阻抗图，其作法如下：

根据系統接綫图，求出各元件(发电机、綫路和变压器等)的阻抗值，由于不同电压的阻抗不能直接相加，必須把所有阻抗归算至同一电压級（称为基准电压$U_{j.zh}$）。在归算时常用各級电压的平均值，即230、115、67、37、10.5、6.3、3.15、0.4、0.23千伏进行計算。当选擇某一电压为基准电压后，不属于这一电压級的阻抗按公式7-65进行归算。

$$Z_{g.s}=Z\frac{U_{j.zh}^2}{U^2}, \qquad (7\text{-}65)$$

式中　$Z_{g.s}$——归算至基准电压$U_{j.zh}$的阻抗值；

Z——在电压U时的阻抗值。

（2）簡化阻抗图，求出綜合阻抗$Z_{z.h}$，如果$Z_{z.h}$中电阻不到电抗的$\frac{1}{3}$时，可略去电阻的数值。

計算容量小于560～750千伏安变压器低压側的短路电流时，可假定高压側系統具有无限大容量，也就是不計算系統的阻抗。这样的假定一般都是允許的。

（3）利用公式7-66即可求出零秒三相短路电流的周期性分量

$$W_{d.l}=\frac{U_{j.zh}^2}{Z_{z.h}}\text{兆伏安}, \qquad (7\text{-}66)$$

式中　$U_{z.zh}$和$Z_{z.h}$应分别用千伏和欧表示。

在計算不計系統短路阻抗的变压器的低压側的短路容量时，也可用公式7-67估算，

$$W_{d.l}=\frac{W_{e.d}\cdot 100}{U_{d.l}\%}\text{兆伏安}, \qquad (7\text{-}67)$$

式中　$W_{e.d}$——变压器額定容量，(兆伏安)；

$W_{d.l}\%$——变压器短路阻抗，(%)。

农村变电所35千伏側短路容量一般不超过400兆伏安，因此低压側短路容量一般不超过表7-27中数值。

表7-27　35千伏变电所低压側短路容量(兆伏安)

台数＼变压器容量(千伏安)	1000	1800	3200	5600
一台	15.2	25.9	41	62.9
二台(并联运行)	29.3	48.6	74.5	108.5

3.阻抗图中各元件阻抗的計算

（1）发电机、調相机的阻抗計算

通常从产品目录中可查到它們的次暫电抗的标么值X''，利用公式7-68就可計算出它們归算至$U_{j.zh}$的电抗值$X_{f.d}$，

$$X_{f.d}=\frac{U_{j.zh}^2}{W_{e.d}}X''\text{欧}, \qquad (7\text{-}68)$$

式中　$W_{e.d}$——发电机的額定容量，(兆伏安)；

$U_{j.zh}$——(千伏)。

在沒有資料时，X''可采取下列平均值：

汽輪发电机	0.125
有阻尼綫卷的水輪发电机	0.2
无阻尼綫卷的水輪发电机	0.27
同期补償器或电动机	0.2

在計算中，不考慮发电机的电阻。

（2）变压器的阻抗計算

表7-28 网絡变换的基本公式

序号	名称	阻抗图 变换前	阻抗图 变换后	阻抗計算公式	电流計算公式
1	串联	Z_1 Z_2 Z_n I	I Z	$Z=Z_1+Z_2+\cdots+Z_n$	$I=I$
2	并联	Z_1 I_1 Z_2 I_2 Z_n I_n	Z I	$\frac{1}{Z}=\frac{1}{Z_1}+\frac{1}{Z_2}+\cdots+\frac{1}{Z_n}$ 当$n=2$时 $Z=\frac{Z_1Z_2}{Z_1+Z_2}$	$I_n=I\frac{Z}{Z_n}$
3	三角形变为星形	L I_{ML} I_{LN} Z_{LN} Z_{LM} Z_{MN} I_{NM} M N	L I_L Z_L Z_M Z_N I_M I_N M N	$Z_L=\frac{Z_{LM}Z_{LN}}{Z_{LM}+Z_{LN}+Z_{MN}}$ $Z_M=\frac{Z_{ML}Z_{MN}}{Z_{LM}+Z_{LN}+Z_{MN}}$ $Z_N=\frac{Z_{NL}Z_{NM}}{Z_{LM}+Z_{LN}+Z_{MN}}$	$I_{ML}=\frac{I_MZ_M-I_LZ_L}{Z_{LM}}$ $I_{LN}=\frac{I_LZ_L-I_NZ_N}{Z_{LN}}$ $I_{NM}=\frac{I_NZ_N-I_MZ_M}{Z_{NM}}$
4	星形变为三角形	L I_L Z_L Z_M Z_N M I_M I_N N	L I_{ML} I_{LN} Z_{LN} Z_{LM} Z_{NM} M I_{NM} N	$Z_{LM}=Z_L+Z_M+\frac{Z_LZ_M}{Z_N}$ $Z_{LN}=Z_L+Z_N+\frac{Z_LZ_N}{Z_M}$ $Z_{NM}=Z_N+Z_M+\frac{Z_NZ_M}{Z_L}$	$I_L=I_{LM}-I_{ML}$ $I_M=I_{ML}-I_{NM}$ $I_N=I_{NM}-I_{LN}$

在本书第八章或产品目录中可查得变压器的短路阻抗$U_{d.l}\%$的百分值，利用公式7-69就可求得归算至$U_{j.zh}$值的阻抗值。

$$Z_{b.y}=\frac{U_{j.zh}^2 U_{d.l}\%}{W_{e.d}\cdot 100}\text{欧}, \qquad (7\text{-}69)$$

对于小容量(几百千伏安以下)的变压器，如果有必要考虑它的电阻时，可以用短路阻抗的有功分量和无功分量分别求出电阻和电抗的归算值。

(3)电力綫路的阻抗計算

在計算短路电流时，每公里6～110千伏单回路架空綫路的电抗可用0.4欧，220～380伏架空綫路采用0.35欧/公里，綫路的电阻可查表7-1和表7-2。35千伏綫路的电阻和截面大于50毫米²的6～10千伏綫路电阻可以忽略不計。

求得綫路的阻抗后，利用公式7-65便得归算至$U_{j.zh}$的阻抗值。

(4)当农村电力网由区域电力系統供电时，不需要画出区域电力系統的全部阻抗，只需得到区域电力系統的綜合阻抗即可。如果不知道綜合阻抗，可用下面方法进行估算。先查得农村电力网与区域电力系統联結处开关的遮断容量，則电力系統的綜合电抗可估計为(归算至$U_{j.zh}$)：

$$X_{x.t}=\frac{U_{j.zh}^2}{W_{e.d}} \qquad (7\text{-}70)$$

4.阻抗图的化簡

把阻抗图上的阻抗化簡成一个綜合阻抗后，才能利用公式7-66求出短路容量。

阻抗合并时，計算公式如表7-27所示，阻抗图中所有电源的电势均假定是相等的。

例： 系統結綫图如图7-18所示，各元件参数已标在图上。求K_1，K_2点三相短路时的短路容量(零秒周期性分量)。

解： 先将各元件阻抗归至6.3千伏。

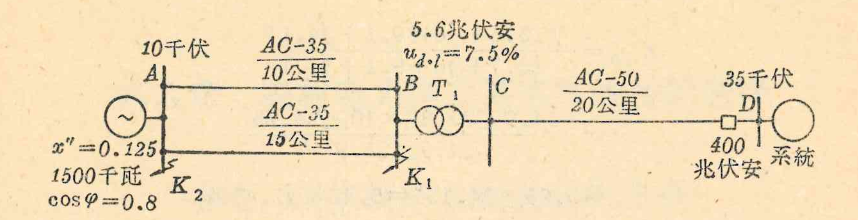


图 7-18 系統結綫图

1)系統阻抗未知，用油开关遮断容量进行估計，利用公式7-69得

$$X_{x.t}=\frac{6.3^2}{400}=0.993\text{欧}.$$

2)綫路CD每公里的阻抗为$0.63+j0.4$欧，总阻抗为$12.6+j8$欧，归算至6.3千伏时阻抗为(利用公式7-65)：

$$Z_{cd}=(12.6+j8)\left(\frac{6.3}{37}\right)^2=0.375+j0.231\text{欧}.$$

3)变压器T_1的归算电抗为(利用公式7-69)：

$$X_{T_1}=\frac{6.3^2\times 7.5}{5.6\times 100}=0.532\text{欧}.$$

4)AB間有二条綫路，每公里阻抗为$0.91+j0.4$欧，总阻抗分别为$13.7+j6$欧和$9.1+j4$欧。

5)发电机的电抗按公式7-68进行計算，

$$Z_{f.d}=\frac{6.3^2\times 0.8}{1.5}\times 0.125=2.65\text{欧}.$$

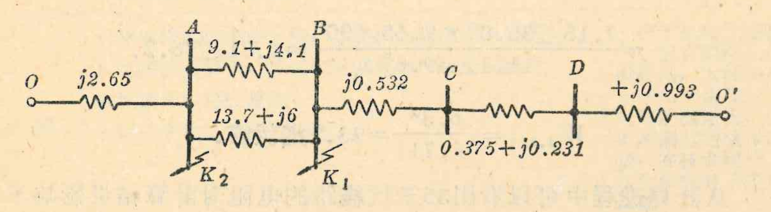


图 7-19 阻抗图

将AB間并联阻抗化简为:

$$Z_{AB}=\frac{(13.6+j6)(9.1+j4.1)}{13.7+j6+9.1+j4.1}$$

$$=\frac{14.9\angle 23.8°\times 10\angle 24.25°}{24.9\angle 23.9°}$$

$$=5.99\angle 24.15°=5.46+j2.45\text{欧}.$$

求K_1点短路容量

$Z_{0B}=5.46+j2.45+j2.65=5.46+j5.1$欧,

$Z_{0'B}=j0.532+0.375+j0.231+j0.993=0.375$
$+j1.256$欧.

Z_{0B}与$Z_{0'B}$并联得

$$Z_{z.h.1}=\frac{(5.46+j5.1)(0.375+j1.256)}{5.46+j5.1+0.375+j1.256}$$

$$=\frac{7.47\angle 43.05°\times 1.31\angle 73.35°}{8.65\angle 47.4°}=1.13\angle 69°.$$

$$W_{d.l.1}=\frac{6.3^2}{1.13}=35\text{兆伏安}.$$

求K_2点短路容量

$Z_{0A}=j2.65$

$Z_{0'A}=j0.993+0.375+j0.231+j0.532+5.46+j2.45$
$=5.835+j4.206.$

Z_{0A}与$Z_{0'A}$并联得

$$Z_{z.h.2}=\frac{(5.835+j4.206)j2.65}{5.835+j4.206+j2.65}$$

$$=\frac{7.18\angle 35.8°\times 2.65\angle 90°}{11.1\angle 49.6°}=1.71\angle 76.2.$$

$$W_{d.l.2}=\frac{6.3^2}{1.71}=23.2\text{兆伏安}.$$

从計算过程中可以看出35千伏綫路的电阻对計算結果影响不大。

第八章　农村电力网主要电气設备的选择

8-1　架空綫路导綫截面的选擇

1.概　述

由于农村負荷密度較小，用戶比較分散，送电距离較长，在农村电气化的投資中电力綫路及变电所投資占的比重較大，所以在規划中，合理的选擇导綫和变压器等主要設备，对保証供电质量，降低电力网的投資，节約材料設备，加速农村电气化的发展速度具有很大的实际意义。

2.导綫的种类和规范

（1）导綫的性能和应用范圍如表8-1所示。

表8-1

导綫材料	导綫的性能	应用范圍
銅	1.导电性能好，导电率为53米/欧-毫米^2 2.有足夠的机械強度，瞬时破坏強度为39公斤/毫米^2 3.比重为8.9克/厘米^3 4.能抵抗气候的影响	由于目前我国銅的产量不夠，而且較貴，在农村电力网中不推荐采用
鋁	1.导电性能比銅差一些，导电率为32米/欧-毫米^2 2.机械強度較小，瞬时破坏強度为16公斤/毫米^2 3.比重为2.7克/厘米^3 4.对化学物品抵抗力較弱	由于机械強度較小，所以都制成多股絞綫，大都用在6～10千伏及以下电压的綫路上，但須与鋼芯鋁綫作比較，在技术經济上认为合理时才采用鋁綫

續表

导綫材料	导綫的性能	应用范圍
鋼	1. 导电性能比銅、鋁差，导电率約为7.5米/欧-毫米^2 2. 机械強度大，瞬时破坏強度单股的为37公斤/毫米^2，多股为60～70公斤/毫米^2 3. 比重为7.85克/厘米^3 4. 容易生銹，但可以在导綫的表面鍍一层鋅，以防生銹	对于負荷小的綫路（通常在25安以下），特別对于支接綫路，建議采用鍍鋅鋼絞綫
鋼芯鋁綫	1. 导电率与鋁綫相同 2. 机械強度大 3. 对化学物品抵抗力与鋁綫相同	可广泛地应用于农村6～10千伏及以上电压的电力綫路上

（2）各种导綫的标准规格及特性如表8-2到表8-6所示。

表8-2 銅导綫的标准规格及特性表

額定截面（毫米^2）	直徑（毫米）	20°C时电阻（欧姆/公里）	1公里长导綫重量（公斤）	导綫温度80°C气温25°C时持續安全电流（安）
T-4	2.2	4.65	34	55
T-6	2.7	3.06	51	77
T-10	3.5	1.84	86	104.5
T-16	5.1	1.20	145	143
T-25	6.3	0.74	222	198
T-35	7.5	0.54	314	242
T-50	9.0	0.39	452	297
T-70	10.6	0.28	600	407
T-95	12.4	0.20	825	456
T-120	14.0	0.158	1050	533
T-150	15.8	0.123	1345	626
T-185	17.5	0.103	1680	708
T-240	20.0	0.078	2120	844

表8-3 鋁导綫的标准规格及特性表

額定截面（毫米^2）	直徑（毫米）	20°C时电阻（欧姆/公里）	1公里长导綫重量（公斤）	导綫温度70°C、气温25°C时持續安全电流（安）
L-16	5.1	1.96	44	105
L-25	6.3	1.27	68	135
L-35	7.5	0.91	95	170
L-50	9.0	0.63	137	215
L-70	10.6	0.45	190	265
L-95	12.4	0.33	266	325
L-120	14	0.27	323	370
L-150	15.8	0.21	419	440
L-185	17.4	0.17	516	500

表8-4 鋼芯鋁导綫的标准规格及特性表

額定截面（毫米^2）	直徑（毫米）	20°C时电阻（欧姆/公里）	1公里导綫重量（公斤）	制造长度（米）	导綫温度70°C气温25°C时持續安全电流（安）
LG-35	8.3	0.91	128	4500	170
LG-50	9.9	0.63	193	3000	220
LG-70	11.7	0.45	269	2000	275
LG-95	13.9	0.33	431	1400	335
LG-120	15.3	0.26	504	1400	380
LG-150	17.0	0.21	623	1000	445
LG-185	19.1	0.17	781	800	515
LG-240	21.5	0.13	995		610
LG-300	25.2	0.11	1395		710
LG-400	29.3	0.08	1880		865

表8-5 鋼导綫的标准规格及特性表

額定截面（毫米^2）	直徑（毫米）	1公里导綫重量（公斤）	导綫温度125°C气温25°C时持續安全电流（安）
多股鋼导綫			
G-25	5.6	194	89.3
G-35	7.8	295	112

續表

額定截面 (毫米²)	直徑 (毫米)	1公里导綫重量 (公斤)	导綫温度125°C 气温25°C时持續安全电流 (安)
G-50	9.2	396	134
G-70	11.5	632	186
G-95	12.6	755	209
单股鋼导綫			
G-Φ4	4	100	52
G-Φ5	5	154	60

注：1.鋼导綫电阻随截面通过电流的大小而改变，如第七章表7-5所示。
2.有确切依据时，鋼导綫持續电流的导綫温度可以超过125°C。

表8-6 鋁芯絕緣綫的标准規格及特性表

标准截面 (毫米²)	导电綫芯		皮綫外徑 (毫米)	安全电流 (安)	每圈重量 (公斤)
	根数	直徑(毫米)			
4	1	2.24	4.9	19	3.39
6	1	2.37	5.3	27	4.21
10	7	1.33	7.6	45	7.8
16	7	1.68	8.9	70	11.4
25	7	2.11	10.6	95	16.4
35	7	2.49	11.8	115	20.3
50	19	1.81	13.8	145	27.6
70	19	2.41	15.4	185	35.1
95	19	2.49	17.6	225	45.9
120	37	2.01	19.7	260	57.4
150	37	2.24	21.7	300	70.0
185	37	2.49	23.8	335	85.0

注：1.上表允許电流值是按周圍空气温度为25°C，导綫温度为65°C考慮的。
2.絕緣綫每圈的标准長度为100米。

3.导綫截面的选擇

选擇导綫截面用的計算負荷应該是綫路建成后五年左右时間內綫路的最大負荷，此負荷不是只在个別年份中出現，而是在相当长一段时間內具有一定的代表性。

在确定綫路計算負荷后，架空綫路的截面一般应按經济电流密度来选擇，然后再以电暈，机械强度，发热及电压損失等技术条件加以校驗。

(1)按經济电流密度选擇截面

經济电流密度是根据綫路投資和年运行費的綜合計算，幷考慮了节約有色金屬等因素而得出的綫路电流密度，因此用經济电流密度求出的截面比較經济合理。它的計算方法如下：先求出綫路上流过的电流I安，按綫路上流过的最大負荷的年利用小时数，从表8-7中査出經济电流密度J，待求的截面S可用下列公式求出：

$$S=\frac{I}{J}\text{毫米}^2. \qquad (8\text{-}1)$$

表8-7 架空鋁綫及鋼芯鋁綫的經济电流密度
(安/毫米²)

最大負荷利用小时		
500～1500	1500～3000	3000～5000
2.0	1.65	1.15

計算出来的截面，可能在两个相邻标准导綫截面之間，一般可以选擇較大的导綫截面；但是綫路負荷在远景規划中沒有增长或增长很小，且計算截面又接近較小的标准导綫截面时，也可以采用較小一号的导綫截面。

表8-8是根据表8-7計算出来的鋁及鋼芯鋁綫的經济輸送容量。

表8-8 鋁及鋼芯鋁导綫經济輸送容量表

(单位：千伏安)

导綫截面(毫米²)	最大負荷利用小时 500～1500小时 I (安)	U (千伏) 0.38	6	10	35	60	110	1500～3000小时 I (安)	U (千伏) 0.38	6	10	35	60	110	3000～4500小时 I (安)	U (千伏) 0.38	6	10	35	60	110
16	32	21	330	550	—	—	—	26.4	17	274	456	—	—	—	18.4	12	191	318	—	—	—
25	50	33	520	870	—	—	—	41.3	28	430	715	—	—	—	28.8	19	298	496	—	—	—
35	70	46	730	1210	4240	7300	—	57.7	38	600	1000	3500	6000	—	40.2	26	418	695	2430	4180	—
50	100	66	1040	1730	6050	10400	19000	82.5	54	855	1430	5000	8550	15730	57.5	38	596	995	3480	5960	11000
70	140	—	1450	2420	8460	14500	26600	115.5	—	1190	2000	6950	11900	22000	80.5	—	836	1395	4860	8360	15400
95	190	—	1970	3280	11450	19700	36100	157	—	1630	2700	9480	16300	29700	109.3	—	1130	1890	6600	11300	20800
120	240	—	2500	4150	14450	25000	45650	198	—	2060	3430	11900	20600	37700	138	—	1435	2390	8350	14350	26300
150	300	—	—	—	18000	31200	57200	247.5	—	—	—	14900	25700	47100	172.5	—	—	—	10400	17900	32800
185	370	—	—	—	22400	38400	70400	305	—	—	—	18400	31700	58000	212.5	—	—	—	12800	22100	40400
240	480	—	—	—	—	49800	91300	396	—	—	—	—	41100	75400	276	—	—	—	—	28700	52400

由于农村負荷密度較小，因此农村电力网可以广泛采用鍍鋅鋼絞綫，这对节約有色金属降低电力网的造价具有重大意义。鋼导綫的缺点是电阻系数較大，当流过大电流时，不仅电压降不能滿足要求，而且电力損失过大，因此鋼导綫适用于負荷較小的綫路，特别是分支綫上。表8-9为流过多股鋼絞綫的推荐电流值。

表8-9 流过多股鋼絞綫的經济电流

导綫型号	G-25	G-35	G-50
电流（安）	0～15	12～20	18～25

(2)按电暈条件来校驗导綫截面

高压架空电力綫路上产生电暈，不但会增加綫路的电力損失，还会对无綫电通信产生干扰，在設計綫路时，要避免綫路在运行中发生这种現象。电暈的产生与导綫的直徑关系很大，故通常用增加导綫直徑的办法来避免它的产生。60千伏及以下的綫路电压較低，可不必按电暈条件来驗算截面，但对110千伏及以上电压的綫路必須作此驗算。"高压架空电力綫路設計技术規程"中規定，在海拔不超过1000米的地区，110千伏的导綫直徑不小于9.9毫米时(相应于AC-50)，可不必驗算电暈。

(3)按机械强度来校驗截面

表8-10 1000伏以上架空电力綫路导綫最小允許截面(或直徑)

导綫 构造	导綫 材料	架空綫路等級 I	架空綫路等級 II
单股的	銅	不許使用	10毫米²
	鋼(鉄)	不許使用	φ3.5毫米
	鋁	不許使用	不許使用
多股的	銅	16毫米²	10毫米²
	鋼(鉄)	16毫米²	10毫米²
	鋁及鋼芯鋁綫	25毫米²	16毫米²

多股及单股导綫直徑过小，或单股导綫的直徑过大，均容易产生断綫，規程中規定了架空綫路的允許截面，如表8-10至表8-12所示。

表 8-11　1000伏以下架空电力綫路最小允許截面（或直徑）

材　料	架空綫路档距（米）			屋外絕緣布綫和引下綫支架間距离（米）	
	10及以下	10～25	大于25	0.8及以下	0.8～2
鋼导綫	3毫米	3毫米	3毫米	—	—
銅导綫	2.5毫米^2	4毫米^2	6毫米^2	1.5毫米^2	2.5毫米^2
鋁导綫	6毫米^2	10毫米^2	16毫米^2	2.5毫米^2	4毫米^2
鋼芯鋁綫	—	—	16毫米^2	—	—

表 8-12　农村电力綫路当高压及低压綫路同杆架設时，高压綫路准許使用单股导綫的截面（或直徑）

导綫材料	截面或直徑	
	最小	最大
非鍍鋅鋼（鉄）綫	5毫米	6毫米
鍍鋅鋼（鉄）綫	4毫米	6毫米
銅綫	10毫米^2	16毫米^2

（4）按导綫的发热条件来校驗导綫截面

电流通过导綫，即在导綫上产生热量，导綫温度升高，容易在接头处发生故障，根据“高压架空电力綫路設計技术規程”規定，架空电力綫路的导綫按发热条件驗算时，在正常运行情况下，导綫的允許温度不应超过以下数值：

銅导綫	80°C
鋁导綫	70°C

在事故运行情况下，鋁导綫的允許温度不应超过90°C。

在进行导綫的温升計算时，周圍空气的温度应采用当地最热月份平均最高温度。

根据以上所校驗的导綫最大允許温度，及周圍空气温度（25°C时），各种导綫截面最大允許的电流見表8-2至表8-5。

如果最热月份空气平均最高温度不同于25°C，則导綫的最大允許电流应予修正，即表8-2至表8-5中的持續安全电流应乘以修正系数。修正系数值可按表8-13选用。

表 8-13　在不同周圍空气温度下的修正系数

导綫材料	周圍空气温度（°C）							
	5	10	15	20	25	30	35	40
銅	1.17	1.13	1.09	1.04	1	0.95	0.9	0.85
鋁	1.145	1.11	1.074	1.038	1	0.96	0.92	0.88
鉄	1.095	1.072	1.05	1.025	1	0.975	0.95	0.922

（5）按电压損失校驗导綫截面

按經济电流密度选擇导綫截面，有时不能滿足电压損失的要求，因此对于6～10千伏及以下电压的綫路，还要按电压損失来校驗导綫截面。如果电压降超过允許范圍，而且沒有任何調压設备的話，可以增加导綫截面来达到减少电压降的目的。对于35千伏及以上电压的綫路，用增加截面来减少电压損失的办法，一般认为是不妥当的。这是因为1）这些电压綫路的送电距离較长，增加导綫截面后会引起投資及有色金属有較多的增加；2）这些綫路采用的截面較大，改变截面对电压損失的影响較小，例如将AC-150导綫改为AC-185，电压降只减少約7%，但将AC-16改为AC-25时，电压降要减少30%；3）采用其他調压措施比改变截面有更好的技术經济效果。

例： 有一条10千伏綫路供电給两个大型排灌站b和c，排灌站的最大負荷（千伏安）和距离（公里）如图8-1所示。最大負荷的年利用小时为1000小时，綫路的容許电压損失为10%，試計算綫路的导綫截面。

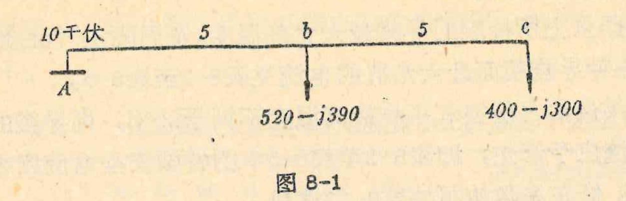


图 8-1

解：流过b、c的电流

$$I_{bc}=\frac{\sqrt{400^2-300^2}}{\sqrt{3}\times 10}=28.9\text{安}.$$

流过 Ab 的电流

$$I_{Ab}=\frac{\sqrt{920^2+690^2}}{\sqrt{3}\times 10}=66.4\text{安}.$$

年利用小时为1000小时时，經济电流密度为 2 安/毫米^2，故

Ab 段截面应为$\frac{66.4}{2}=33.2$毫米^2；bc 段截面应为$\frac{28.9}{2}=14.45$毫米^2。

bc 段的截面必須采用 16 毫米^{2}的鋁綫，才能满足机械强度的要求。Ab段的截面可用35毫米^{2}的鋁綫。由表 8-4 可知，导綫的发热是不成問題的，現在験算电压損失：

Ab段、bc段电抗各以0.4欧/公里和 0.37 欧/公里計算，每公里的电阻分别为1.96欧和0.91欧。

$$\Delta U_{Ab}=\frac{Pr+Qr}{U}=\frac{920\times0.91+690\times0.37}{10}5$$

$$=546\text{伏},$$

$$\Delta U_{bc}=\frac{400\times1.96+0.4\times300}{10}5=453\text{伏}.$$

全綫电压損失为 999 伏，占綫路电压的9.99%，没有超过允許范圍(也可利用第七章中介紹的图和表，求出电压損失)。

8-2 变压器台数及容量的选擇

1.概　述

变压器是电力系統中主要元件之一，用来升高或降低交流电压。它的种类很多，在农村电力网中常用的可分下列几类：

（1）按相数来分可分为三相和单相变压器　农村电力网中三相变压器用得最多，这是由于农村中大部分动力負荷都需三相供电，而三相变压器比同容量的三台单相变压器組有較多的优点：体积小，价格低，安装費用和占地面积也比較小，同时运行操作比較方便。

对于低压无三相动力負荷，而仅有一些小用戶，如照明及家庭用电器具的配电点，可采用单相变压器。

（2）按綫卷来分可分为三卷和双卷变压器　农村电网中，一般采用双卷变压器。但当发电厂或变电所有10（6）千伏，35(60)千伏和110千伏三种电压时，可采用三卷变压器。

（3）按用途来分可分为升压和降压变压器　升压变压器通常安装在发电厂，用来提高发电机的电压；降压变压器一般安装在变电所或用戶处，用来降低輸电綫的电压。

（4）按調压方式来分可分为带負荷調压变压器和不带負荷調压变压器　前者当用戶电压不符合規定时，可以不切断負荷調节电压至标准值。

（5）按冷却方式来分可分为自然风冷、油浸自冷、油浸风冷、强迫油循环风冷和强迫油循环水冷等　目前农村中的变压器一般采用油浸自冷式；自然风冷式(也叫干式)变压器容量很小，一般不采用；其他一些冷却方式在大容量变压器中才采用。

2.变压器的台数及容量选擇

在滿足同样的負荷要求的前提下，变压器的台数及容量可以有几种不同的組合，可选擇一台較大容量的变压器，也可选擇两

台(或两台以上)較小容量的变压器。选擇两台(或两台以上)变压器有以下优缺点：

(1)基建投資要比选擇一台变压器为大，同时在变压器和变电所內的其他电气設备的有色金属(銅和鋁)消耗也多；

(2)在运行中可根据变电所內的負荷变化，合理調整变电所內变压器投入的台数。例如，某一35千伏农村变电所有两台容量分別为1800和1000千伏安的变压器，由于在非排灌期变电所最大負荷仅为700千伏安，因此在非排灌期可以切除一台1800千伏安的变压器，减少变压器的功率損失；

(3)当一台变压器发生故障时，其余变压器仍可保証一些重要負荷用电；

(4)可以根据負荷在規划水平年內的增长，分期安装变压器，减少投資积压；

(5)可以减少运輸重量。

从技术上讲，采用一台变压器或两台变压器都能滿足农业供电的要求。采用两台变压器的合理性主要取决于多花的投資能否被可能节約的运行費在預定的时間內收回，因此需要通过經济比較来决定。

变压器的容量应根据規划水平年(一般为五年左右)的最大供电負荷来选擇，与此負荷相应的变电所的最大通过功率在变压器标准容量之間时，如果負荷会继續增长，一般选取容量較大的变压器。如果負荷在远景中沒有增长或增长很小，且考虑变压器的过負荷因素后，标准容量較小的变压器能滿足需要，则选用标准容量較小的变压器。

3.变压器的过負荷能力

变压器的过負荷能力是根据变压器外界周圍空气的最高温度，变压器的温升情况以及昼夜負荷变动情况来确定，可按下述方法計算：

(1)如果变压器的昼夜負荷曲綫的負荷率小于1，对于装置

在室外，周圍年平均温度等于+5°C的自冷式或风冷式油浸变压器，允許过負荷的倍数和允許的持續时間，可由图8-2来决定。

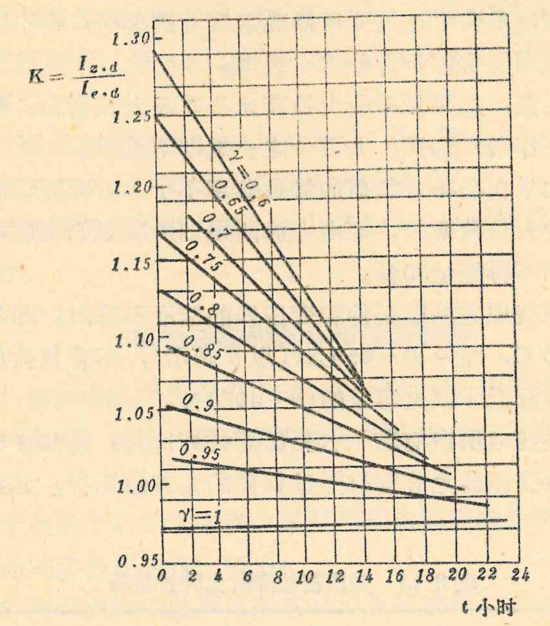


图 8-2 变压器的过負荷能力图

图中横坐标 t 表示最大負荷电流的持續时間，纵坐标 K 表示变压器能通过的最大电流与变压器額定电流的比值。不同的負荷率 γ 对应不同的曲綫。負荷率是指日平均电流与最大电流的比值。

如果年平均温度不是5°C，而是 θ°C 则从图中求出的过負荷能力应乘以系数 x，

$$x=1+\frac{5-\theta}{100}.$$

(2)当变压器夏季(6、7、8月)的最大負荷比冬季最大負荷低，如变压器容量按冬季工作条件选擇，则变压器夏季最大負荷比变压器額定容量低 $n\%$ 时，变压器冬季最大負荷可超过变压器額定容量 $n\%$，但不得大于15%。即由于夏季最大負荷每低于

变压器額定容量的1%，允許冬季最大負荷超过变压器額定容量的1%，如果夏季最大負荷低于变压器額定容量的85%，则冬季最大負荷的过負荷可达到变压器額定容量的15%，但不容許大于15%。此规则通常称为百分之一规則。

必須注意，如果夏季最大負荷比冬季最大負荷大，变压器容量按夏季工作条件选擇，則百分之一規則不适用。

（3）如果在冬季日負荷曲綫負荷率小于1，而夏季最大負荷又比冬季最大負荷低时，則由上述两規則所决定的变压器过負荷能力的总和不得超过30%。

（4）有些地方温度条件和变压器的标准不符时，即年最高温度不为+40°C，而为40～45°C时（以θ表示），不管負荷如何，变压器的容量应低于額定容量的(θ－40°)%。

（5）在变电所內有若干台变压器并列运行，若其中一台損坏时，則其余变压器允許按故障过負荷的允許值运行，如表8-14所示。

表8-14 变压器故障时允許过負荷

过負荷是額定容量的百分数	允許最大持續时間					
	戶內装置			戶外装置		
	小时	分	秒	小时	分	秒
1.3	2	—	—	1	—	—
1.6	—	45	—	—	15	—
1.75	—	20	—	—	8	—
2.0	—	10	—	—	4	—
2.4	—	3	30	—	2	—
3.0	—	1	30	—	—	50

4.变压器并列运行的条件

在变电所內有两台（或两台以上）变压器时，一般均考慮并列运行。为了使两台变压器間形成的回路不产生环路电流，使变压器負載按变压器容量比例分配，并列运行的变压器必須滿足下述

条件：

（1）必須具有相同的变压比；

（2）必須具有大致相同的短路电压。如果短路电压相差較大，应进行驗算，使并列运行的变压器当中任何一台不致于产生过載运行；

（3）都应有同样的"綫卷連接組"，也就是⅄/△-11的綫卷連接組只能和⅄/△-11的綫卷連接組并列运行。

如果选擇的变压器不能符合上述条件，則变压器低压側必須分列运行。

5.变压器的型号和技术数据

表8-15到表8-18中列出了SJ₁型、SFL型、SFSL型和SJ型变压器的参数。前三种型式的变压器的阻抗已經計算出来，并列在表中。

由于我国产品目录中缺少某些型式的变压器参数，现将苏联同类产品的参数列在表8-19中。

表8-21至表8-22是变压器的尺寸及重量表。

表8-23列出了变压器的銅重。

表8-24至表8-26是变压器的額定电压及綫卷連接組合表。

表8-27是变压器的抽头表。

现将我国变压器型号說明如下：

变压器型号由两部分組成，第一部分是根据国务院所頒布的汉語拼音字母，用以表示产品类别、結构特征和用途。

型号字母的代表意义如下。

第一字母：

D——单相；

S——三相；

O——自耦，若OD为单相自耦，OS为三相自耦。

第二字母：

J——油浸自冷式；

表 8-15　SJ_1 系列 10～5600 千伏安电力变压器参数表

額定容量	綫卷額定电压的最大限値		损耗		空載电流占額定电流百分数	短路电压占額定电压百分数	空載时无功功率損失	短路电压有功分量的百分数	短路电压的无功分量		归算至高压側的降压变压器的阻抗	
	高压	低压	額定电压时的空載损耗 $\Delta P_{k.z}$	額定电压时的短路损耗 $\Delta P_{d.l}$			$\Delta Q_{k.z}$			$\Delta Q_{d.l}$	电阻	电抗
(千伏安)	(千伏)	(千伏)	(瓦)	(瓦)	(%)	(%)	(千乏)	(%)	(%)	(千乏)	(欧)	(欧)
10	6.0	0.4	105	360	11	4.5	1.1	3.6	2.7	0.27	130	97.1
	10.0	0.4	135	360	12	4.5	1.2	3.6	2.7	0.27	360	270
20	6.0	0.4	180	625	10	4.5	2.0	3.13	3.23	0.65	56.3	58
	10.0	0.4	215	625	11	4.5	2.2	3.13	3.23	0.65	156	161
50	6.0	0.4	350	1300	7.5	4.5	3.75	2.6	3.68	1.84	18.7	26.5
	10.0	0.4	405	1300	8.0	4.5	4.0	2.6	3.68	1.84	52	73.6
100	6.0	0.4	600	2250	7.0	4.5	7.0	2.25	3.89	3.89	8.1	14
	10.0	0.4	660	2250	7.5	4.5	7.5	2.25	3.89	3.89	22.5	38.9
180	6.0	0.4	960	3600	6.5	4.5	11.7	2.0	4.03	7.25	4.0	8.06
	10.0	0.4	1000	3600	7.0	4.5	12.6	2.0	4.03	7.25	11.1	22.4
320	6.0	0.4	1450	5700	6.0	4.5	19.2	1.78	4.14	13.2	2.04	4.65
	10.0	0.4	1500	5700	6.5	4.5	20.8	1.78	4.14	13.2	5.57	12.9

續表

額定容量	綫卷額定电压的最大限値		损耗		空載电流占額定电流百分数	短路电压占額定电压百分数	空載时无功功率損失	短路电压有功分量的百分数	短路电压的无功分量		归算至高压側的降压变压器的阻抗	
	高压	低压	額定电压时的空載损耗 $\Delta P_{k.z}$	額定电压时的短路损耗 $\Delta P_{d.l}$			$\Delta Q_{k.z}$			$\Delta Q_{d.l}$	电阻	电抗
(千伏安)	(千伏)	(千伏)	(瓦)	(瓦)	(%)	(%)	(千乏)	(%)	(%)	(千乏)	(欧)	(欧)
560	10.0	0.4	2200	9000	6.0	4.5	33.6	1.61	4.2	23.5	2.87	7.5
750	10.0	0.4	3700	11300	6.0	4.5	45.0	1.51	4.23	31.7	2.01	5.64
1000	10.0	0.4	4500	14000	5.0	4.5	50.0	1.4	4.24	42.4	1.4	4.24
	10.0	6.3	4500	14000	5.0	5.5	50.0	1.4	5.32	53.2	1.4	5.32
	35.0	10.5	5000	14000	5.5	6.5	55.0	1.4	6.35	63.5	17.2	77.8
1800	10.0	0.4	6800	22000	4.5	4.5	81.0	1.22	4.33	78	0.68	2.41
	10.0	6.3	6800	22000	4.5	5.5	81.0	1.22	5.36	96.5	0.68	2.98
	35.0	10.5	7400	22000	5.0	6.5	90.0	1.22	≈6.5	117	8.34	44.3
3200	10.0	0.4	10200	34000	4.0	5.5	128.0	1.06	≈5.5	176	0.332	1.71
	38.5	10.5	10800	34000	4.5	7.0	144.0	1.06	≈7.0	224	4.06	26.8
5600	10.0	0.4	15000	52000	3.5	5.5	196.0	0.93	≈5.5	308	0.166	0.983
	38.5	10.5	15500	52000	4.0	7.5	224.0	0.93	≈7.5	420	2.03	16.4

注：升压变压器的阻抗为降压变压器的1.21倍。

表 8-16 SFL 系列 110 千伏双卷电力变压器参数表

型式	损耗		空载电流占额定电流百分数 (%)	短路电压占额定电压百分数 (%)	空载时无功功率损失 (千乏)	短路电压有功分量的百分数 (%)	短路电压的无功分量		归算至高压侧的降压变压器的阻抗	
	额定电压时的空载损耗 (瓩)	额定电压时的短路损耗 (瓩)					(%)	(千乏)	电阻 (欧)	电抗 (欧)
SFL-7500/110	24.0	75	4.0	10.5	300	1.00	10.5	788	16.1	169
SFL-10000/110	30.0	94	3.5	10.5	350	0.94	10.5	1050	11.4	127
SFL-15000/110	40.5	128	3.5	10.5	525	0.853	10.5	1575	7.22	89
SFL-20000/110	50.0	160	3.0	10.5	600	0.81	10.5	2100	4.84	63.5
SFL-31500/110	74.0	200	2.7	10.5	850	0.635	10.5	3310	2.44	40.4
SFL-45000/110	100.0	250	2.6	10.5	1170	0.555	10.5	4725	1.49	28.2
SFL-60000/110	130.0	310	2.5	10.5	1500	0.517	10.5	6300	1.04	21.2

注：升压变压器的阻抗为降压变压器的1.21倍。

表 8-17 SFSL 系列 110 千伏三卷电力变压器参数表

型式		损耗		空载电流占额定电流百分数 (%)	短路电压占额定电压的百分数			归算至高压侧的降压变压器的阻抗				
		额定电压时的空载损耗 (瓩)	额定电压时的短路损耗 (瓩)		高-中 (%)	高-低 (%)	中-低 (%)	电阻: 100%綫卷 (欧)	电阻: 66.7%綫卷 (欧)	电抗: 高压 (欧)	电抗: 中压 (欧)	电抗: 低压 (欧)
SFSL-7500/110	I II	32	80	4.5	17 10.5	10.5 17	6 6	8.6	12.9	174 174	101 0	0 101
SFSL-10000/110	I II	39	98	4.4	17 10.5	10.5 17	6 6	5.93	8.9	130 130	75.6 0	0 75.6
SFSL-15000/110	I II	55	135	4.0	17 10.5	10.5 17	6 6	3.63	5.45	86.8 86.8	50.4 0	0 50.4
SFSL-20000/110	I II	70	162	3.5	17 10.5	10.5 17	6 6	2.45	3.68	65 65	37.8 0	0 37.8
SFSL-31500/110	I II	98	230	3.0	17 10.5	10.5 17	6 6	1.40	2.1	41.3 41.3	24.0 0	0 24.0
SFSL-45000/110	I II	130	300	3.0	17 10.5	10.5 17	6 6	0.897	1.35	28.9 28.9	16.8 0	0 16.8
SFSL-60000/110	I II	147	430	2.5	17 10.5	10.5 17	6 6	0.724	1.09	21.7 21.7	12.6 0	0 12.6

注：升压变压器的阻抗为降压变压器的1.21倍。

表 8-18　SJ-10～5600 千伏安三相双卷变压器的参数表

額定容量	綫卷額定电压的最大限值		損耗		短路电压	空載电流
（千伏安）	高压（千伏）	低压（千伏）	空載損耗（瓦）	短路損耗（瓦）	（%）	（%）
10	6.3	0.4	105	335	5.5	10.0
	10	0.4	140	335	5.5	10.0
20	6.3	0.4	180	600	5.5	9.0
	10	0.4	220	600	5.5	10.0
30	6.3	0.4	250	850	5.5	8.0
	10	0.4	300	850	5.5	9.0
50	6.3	0.4	350	1325	5.5	7.0
	10	0.4	440	1325	5.5	8.0
100	6.3	0.4	600	2400	5.5	6.5
	10	0.4	730	2400	5.5	7.5
180	6.3	0.4	1000	4000	5.5	6.0
	10	0.4	1200	4100	5.5	7.0
320	6.3	0.4	1600	6070	5.5	6.0
	10	0.4	1900	6200	5.5	7.0
560	10	0.4	2500	9400	5.5	6.0
750	10	0.4	4100	11900	5.5	6.0
1000	10	0.4	4900	15000	5.5	5.0
	10	6.3	4900	15000	5.5	5.0
	35	10.5	5100	15000	6.5	5.5
1800	10	0.4	8000	24000	5.5	4.5
	10	6.3	8000	24000	5.5	4.5
	35	10.5	8300	24000	6.5	5.0
3200	10	6.3	11000	37000	5.5	4.0
	35	10.5	11500	37000	7.0	4.5
5600	10	6.3	18000	56000	5.5	4.0
	35	10.5	18500	57000	7.5	4.5

注：SJ 与 SJ_1 型变压器的用途是一样的，只是因材料供应不同而引起参数的某些变化。

表 8-19　苏联生产和試制的某些变压器的参数表

型式	短路电压（%）			損耗（瓩）		空載电流
	高-中	高-低	中-低	空載損失	短路損失	（%）
ТМ-100/35		6.5		0.9	2.4	8
ТМ-180/35		6.5		1.5	4.1	8
ТМ-320/35		6.5		2.3	6.2	7.5
ТМ-560/35		6.5		3.35	9.4	6.5
ТМ-1000/35		6.5		5.10	15.0	5.5
ТМ-1800/35		6.5		8.30	24.0	5
ТМ-3200/35		7.0		11.5	37.0	4.5
ТМ-5600/35		7.5		18.5	57.0	4.5
ТМ-7500/35		7.5		24.0	75.0	3.5
ТД-10000/35		7.5		29.0	92.0	3.0
ТД-15000/35		8.0		39.0	122.0	3.0
ТД-20000/35		8.0		48.0	148.0	2.5
ТД-31500/35		8.0		93.0	180.0	2.3
ТМН-560/10		5.5		2.5	9.4	—
ТМН-750/10		5.5		4.5	11.8	—
ТМН-1000/10		5.5		4.6	15.1	—
ТМН-560/35		6.5		3.35	9.4	—
ТМН-1000/35		6.5		6.0	14.0	—
ТМН-1800/35		6.5		9.0	24.0	—
ТМН-3200/35		7.0		13.2	34.0	—
ТМН-5600/35		7.5		19.5	57.0	—
ТДН-10000/35		14.4		24.0	90.0	4
ТДН-15000/35		8.2		40.0	120.0	4

續表

型式	短路电压（%）			損耗（瓩）		空載电流（%）
	高-中	高-低	中-低	空載損失	短路損失	
ТДН-20000/35		8.3		50.0	130	3.5
ТДНГ-10000/110		13.2		38.0	95.0	4.5
ТДНГ-15000/110		10.7		50.0	115	4.5
ТДНГ-20000/110		11.6		62.0	150	4.5
ТДНГ-31500/110		11.6		95.0	195	4
ТДТНГ-10000/110	17	10.5	6.4	52.0	103	5.5
ТДТНГ-10000/110	10.5	17	6.4	52.0	98.0	5.5
ТДТНГ-15000/110	10.8	18.2	6.6	65.0	137	5
ТДТНГ-15000/110	18.2	10.8	6.6	65.0	137	5
ТДТНГ-20000/110	11.7	19	6.7	78.0	181	5
ТДТНГ-20000/110	18.4	11.2	6.5	78.0	181	5
ТДТНГ-31500/110	17.4	10.5	6.2	125	260	5
ТДТНГ-31500/110	10.7	17.1	6.2	125	245	5
ТДТНГ-40500/110	18.4	10.9	7.0	145	305	4
ТДТНГ-40500/110	10.6	18.2	6.9	145	300	4

注：1.ТМ型是双卷变压器。

2.ТМН型是双卷带負荷調压变压器，其分接头为 ±4×2.5%（1800千伏安以下变压器）和±4×2.0%（1800～5600千伏安）。

3.ТДН型和ТДНГ型是双卷带負荷調压变压器。

4.ТДТНГ型是三卷带負荷調压变压器。

表8-20 SJ_1系列10～5600千伏安三相双卷变压器外形尺寸及重量

型号	外形尺寸（毫米）			重量（公斤）		
	高	长	寬	器身重	油重	总重
SJ_1-10/6	1135	930	450	100	94	255
SJ_1-10/10	1135	930	450	105	94	260
SJ_1-20/6	1155	985	450	145	110	320
SJ_1-20/10	1155	985	450	150	110	325
SJ_1-50/6	1280	1105	765	265	150	515
SJ_1-50/10	1280	1105	765	275	150	525
SJ_1-100/6	1435	1235	820	415	218	810
SJ_1-100/10	1435	1235	820	430	218	825
SJ_1-180/6	1490	1295	984	590	284	1115
SJ_1-180/10	1490	1295	984	620	284	1145
SJ_1-320/6	1635	1665	1000	890	370	1625
SJ_1-320/10	1635	1665	1000	915	370	1650
SJ_1-560/10	1780	1915	1170	1400	540	2510
SJ_1-750/10	3650	2260	1440	1900	920	3480
SJ_1-1000/10(Y/Y0-12)	2590	2540	1560	2300	1150	4380
SJ_1-1000/10(Y/0-11)	2590	2540	1560	2250	1150	4330
SJ_1-1000/35	2935	2610	1480	2600	1620	5320
SJ_1-1800/10	3135	2705	1800	3550	2030	7140
SJ_1-1800/35	3305	2945	1850	3750	2310	7800
SJ_1-3200/10	3605	2845	3500	5300	3260	10960
SJ_1-3200/35	3605	2965	3500	5550	3500	11500
SJ_1-5600/10	3745	4155	3550	7750	4230	15540
SJ_1-5600/35	3725	4155	3550	8050	4400	16090

注：变压器总重量除器身重及油重外，尚包括油箱及附件重量。

表8-21 SFL / SFSL-7500～60000千伏安变压器外形尺寸及重量

型号	外形尺寸（毫米）			重量（公斤）		
	寬	高	长	油重	总重	运輸重
SFL-7500/110	4420	4928	5135	10900	29950	23440
SFL-10000/110	4440	5040	5366	12150	34550	26210
SFL-15000/110	4680	5287	6460	14350	43250	31565
SFL-20000/110	4750	5480	6350	16550	51550	37400
SFL-31500/110	5490	6118	6850	19200	66800	51160
SFL-45000/110	5000	6130	7170	21900	81000	63635
SFL-60000/110	5610	6541	7880	25800	99800	76810
SFSL-7500/110	4780	5122		14225	38625	31010
SFSL-10000/110	4820	5290		15515	43635	35540
SFSL-15000/110	4870	5418		17430	54630	43450
SFSL-20000/110	4950	5517		19200	63200	50340
SFSL-31500/110	5600	6014		25100	83600	65420
SFSL-45000/110	5720	6388		28900	105500	81700
SFSL-60000/110	5800	7117		37600	130300	97380

表8-22 SJ系列10～5600千伏安双卷变压器外形尺寸及重量

型号	外形尺寸（毫米）			重量（公斤）		
	长	寬	高	器身重	油重	总重
SJ-10/6	920	775	940	110	115	300
SJ-10/10	1070	450	1135	120	150	355
SJ-20/6	920	785	1035	170	130	380
SJ-20/10	1070	540	1255	180	195	465
SJ-30/6	950	820	1110	200	180	480
SJ-30/10	1170	670	1335	245	220	590
SJ-50/6	1005	820	1055	245	165	530
SJ-50/10	1200	570	1265	285	200	680
SJ-100/6	1280	820	1380	390	235	875
SJ-100/10	1230	875	1550	430	310	935
SJ-180/6	1230	960	1433	550	260	1240
SJ-180/10	1230	960	1433	560	260	1250

續表

型号	外形尺寸（毫米）			重量（公斤）		
	长	寬	高	器身重	油重	总重
SJ-320/6	1680	1020	1575	830	350	1710
SJ-320/10	1680	1020	1575	850	350	1730
SJ-560/10	2070	1340	1735	1350	520	2920
SJ-750/10	2260	1450	2202	1600	900	3850
SJ-1000/10	2480	1510	2475	1920	1030	4490
SJ-1000/35	2610	1480	2930	2600	1650	5740
SJ-1800/10	2705	1800	3135	3550	2030	7970
SJ-1800/35	2945	1850	3305	3750	2310	9060
SJ-3200/10	2845	3500	3605	5300	3260	10960
SJ-3200/35	2965	3500	3605	5550	3100	11840
SJ-5600/10	3930	3550	3725	7750	4230	15540
SJ-5600/35	4155	3550	3725	8050	4400	18310

表8-23 变压器的銅重

变压器容量（千伏安）	各級电压变压器的銅重（吨）				
	6千伏	10千伏	35千伏	110千伏	110千伏（三卷）
10	0.031				
20	0.038	0.034			
50	0.06	0.055	0.065		
100	0.068	0.073	0.088		
180	0.105	0.106	0.120		
320	0.160	0.150	0.168		
560	0.270	0.260	0.308		
750	0.300	0.303			
1000	0.430	0.423	0.483		
1800	0.615	0.585	0.550		
3200	0.910	0.845	0.920		
5600	1.210	1.185	1.180	1.55	2.50
7500			1.500	1.65	3.10
10000			1.850	2.00	3.50
15000			2.800	2.50	4.05
20000			3.400	3.05	5.05
31500			5.900	5.10	6.65

表 8-24 我国10～5600千伏安三相双卷变压器的额定容量、电压以及綫卷連接組的标准組合

额定容量（千伏安）及额定电压（千伏）															綫卷連接組
10	20	50	100	180	320	560	750	1000	1800	2400	3200	4200	5600	
高压/低压	高压/低压	高压/低压	高压/低压	高压/低压	高压/低压	高压/低压	高压/低压	高压/低压	高压/低压	高压/低压	高压/低压	高压/低压	高压/低压	
3.0/0.4	3.0/0.4	3.0/0.4	3.0/0.4	3.0/0.4	3.0/0.4	3.0/0.4	3.0/0.4	3.0/0.4						人/人$_{0}$-12
6.0/0.4	6.0/0.4	6.0/0.4	6.0/0.4	6.0/0.4	6.0/0.4	6.0/0.4	6.0/0.4	6.0/0.4	6.0/0.4					人/人$_{0}$-12
10.0/0.4	10.0/0.4	10.0/0.4	10.0/0.4	10.0/0.4	10.0/0.4	10.0/0.4	10.0/0.4	10.0/0.4	10.0/0.4					人/人$_{0}$-12
				6.0/3.15	6.0/3.15	6.0/3.15		6.0/3.15	6.0/3.15	6.0/3.15	6.0/3.15			人/△-11
				10.0/3.15	10.0/3.15	10.0/3.15		10.0/3.15	10.0/3.15	10.0/3.15	10.0/3.15	10.0/3.15	10.0/3.15	人/△-11
				10/6.3	10/6.3	10/6.3		10.0/6.3	10.0/6.3	10.0/6.3	10.0/6.3	10.0/6.3	10.0/6.3	人/△-11
			35.0/0.4	35.0/0.4	35.0/0.4	35.0/0.4		35.0/0.4						人/人$_{0}$-12
				35.0/3.15	35.0/3.15	35.0/3.15	35.0/3.15	35.0/3.15	35.0/3.15	35.0/3.15	35.0/3.15	35.0/3.15	35.0/3.15	人/△-11
				35.0/6.3	35.0/6.3	35.0/6.3	35.0/6.3	35.0/6.3	35.0/6.3	35.0/6.3	35.0/6.3	35.0/6.3	35.0/6.3	人/△-11
				35.0/10.5	35.0/10.5	35.0/10.5	35.0/10.5	35.0/10.5	35.0/10.5	35.0/10.5	35.0/10.5	35.0/10.5	35.0/10.5	人/△-11
											38.5/3.15		38.5/3.15	人/△-11
											38.5/6.3		38.5/6.3	人/△-11
											38.5/10.5		38.5/10.5	人/△-11

表 8-25　我国7500～60000千伏安三相双卷变压器的額定容量电压以及綫卷連接組的标准組合

	額定容量(千伏安)及額定电压(千伏)							綫卷連接組
	7500	10000	15000	20000	31500	40500	60000	
	高压/低压	高压/低压	高压/低压	高压/低压	高压/低压	高压/低压	高压/低压	
降压变压器	35.0/6.6	35.0/6.6	35.0/6.6	35.0/6.6	35.0/6.6	—	—	人$_0$/△-11
	35.0/11.0	35.0/11.0	35.0/11.0	35.0/11.0	35.0/11.0	—	—	人$_0$/△-11
	110.0/3.3	110.0/3.3	110.0/3.3	110.0/3.3	110.0/3.3	—	—	人$_0$/△-11
	110.0/6.6	110.0/6.6	110.0/6.6	110.0/6.6	110.0/6.6	110.0/6.6	110.6/6.6	人$_0$/△-11
	110.0/11.0	110.0/11.0	110.0/11.0	110.0/11.0	110.0/11.0	110.0/11.0	110.0/11.0	人$_0$/△-11
升压变压器	38.5/3.15	38.5/3.15	38.5/3.15	38.5/3.15	38.5/3.15	—	—	人$_0$/△-11
	38.5/6.3	38.5/6.3	38.5/6.3	38.5/6.3	38.5/6.3	—	—	人$_0$/△-11
	38.5/10.5	38.5/10.5	38.5/10.5	38.5/10.5	38.5/10.5	—	—	人$_0$/△-11
	121.0/3.15	121.0/3.15	121.0/3.15	121.0/3.15	121.0/3.15	—	—	人$_0$/△-11
	121.0/6.3	121.0/6.3	121.0/6.3	121.0/6.3	121.0/6.3	121.0/6.3	121.0/6.3	人$_0$/△-11
	121.0/10.5	121.0/10.5	121.0/10.5	121.0/10.5	121.0/10.5	121.0/10.5	121.0/10.5	人$_0$/△-11

表 8-26　我国7500～60000千伏安三相三綫卷的額定容量、电压以及綫卷連接組的标准組合

	額定容量(千伏安)及額定电压(千伏)							綫卷連接組
	7500	10000	15000	20000	31500	40500	60000	
	高压/中压/低压	高压/中压/低压	高压/中压/低压	高压/中压/低压	高压/中压/低压	高压/中压/低压	高压/中压/低压	
降压变压器	110.0/38.5/	110.0/38.5/						人$_0$/△-11
	110.0/38.5/6.6	110.0/38.5/6.6	110.0/38.5/6.6	110.0/38.5/6.6	110.0/38.5/6.6	110.0/38.5/6.6	110.0/38.5/6.6	人$_0$/△-11
	110.0/38.5/11.0	110.0/38.5/11.0	110.0/38.5/11.0	110.0/38.5/11.0	110.0/38.5/11.0	110.0/38.5/11.0	110.0/38.5/11.0	人$_0$/△-11
升压变压器	121.0/38.5/6.3	121.0/38.5/6.3	121.0/38.5/6.3	121.0/38.5/6.3	121.0/38.5/6.3	121.0/38.5/6.3	121.0/38.5/6.3	人$_0$/△-11
	121.0/38.5/10.5	121.0/38.5/10.5	121.0/38.5/10.5	121.0/38.5/10.5	121.0/38.5/10.5	121.0/38.5/10.5	121.0/38.5/10.5	人$_0$/△-11
							121.0/38.5/13.8	人$_0$/△-11

表 8-27 变压器額定电压及空載时綫卷分接头数值

10～5600千伏安变压器(一)

綫卷之分接头	降压变压器的高压綫卷(千伏)							升压变压器高压綫卷(千伏)
+5%	3.15	3.3	6.3	6.6	10.5	11	36.75	40.4
額定值	3	3.15	6	6.3	10	10.5	35	38.5
−5%	2.85	3.0	5.7	6.0	9.5	10	33.25	36.6

7500～60000千伏安变压器(二)

綫卷之分接头	双卷及三卷变压器的高压綫卷(千伏)					升压及降压变压器的中压綫卷(千伏)
	降压变压器			升压变压器		
+5%	11.0	36.75	115.5	40.4	127.05	40.4
+2.5%	10.75	35.87	112.7	39.46	124.02	39.46
額定	10.5	35.0	110.0	38.5	121.0	38.5
−2.5%	10.25	34.13	107.25	37.54	117.98	37.54
−5%	10	33.25	104.5	36.6	114.95	36.6

F——风冷式；

S——强迫水冷却；

P——强迫油冷却。

第三字母：

S——三綫卷；

L——有防雷保护装置；

Z——带負載調压装置。

变压器型号的第二部分是用数字表示产品容量和电压等級。

例：SJ-560/10。

SJ 表示三相油浸自冷式变压器；

560/10之分子表示容量为 560 千伏安，分母表示額定电压为 10千伏。

6.例 題

某一35/10千伏农村变电所灌溉期最大供电負荷为 2300−j2035，灌溉期負荷曲綫如图8-3所示，全年灌溉期为 4 个月。在非灌溉期最大供电負荷为 600−j530。該变电所的最大負荷利用小时数为1800小时，試求变电所內变压器的合理台数及容量。

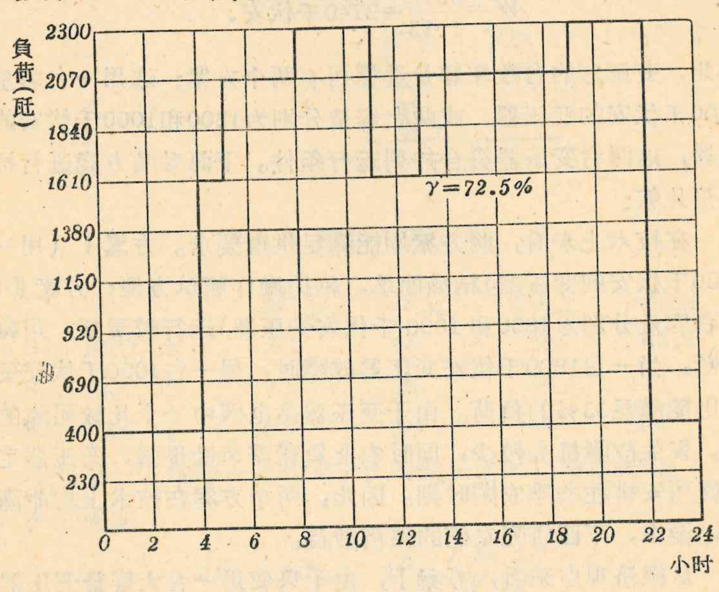


图 8-3 某变电所灌溉期的負荷曲綫

解：(1)变压器容量的計算

变电所的最大通过功率：

在灌溉期为

$$W=\sqrt{2300^2+2035^2}=3070\text{千伏安};$$

$$\cos\varphi=\frac{2300}{3070}=0.75.$$

在非灌溉期为

$$W'=\sqrt{600^2+530^2}=800\text{千伏安};$$

$$\cos\varphi' = \frac{600}{800} = 0.75.$$

假定变压器允許用过負荷条件来选擇，根据图8-2和图8-3，求得变压器允許过負荷12%（由于最大負荷发生在夏季，百分之一規則不适用），所需变压器的容量：

$$W = \frac{3070}{1.12} = 2740\text{千伏安}.$$

因此，变压器的台数和容量选擇可有两个方案：选用一台容量为3200千伏安的变压器，或两台容量分別为1800和1000千伏安的变压器，这两台变压器符合并列运行条件。下面对两方案进行技术經济比較：

在技术上来看，两方案均能滿足供电要求。方案Ⅰ（用一台3200千伏安的变压器）結綫簡单，維护操作簡单方便；方案Ⅱ（用两台容量分別为1800和1000千伏安变压器）运行較灵活，可輪流檢修，当一台1800千伏安变压器故障时，另一台1000千伏安变压器仍能滿足33%的負荷。由于变压器是电网中一个比較可靠的元件，发生故障机会較少，同时农业負荷季节性很强，变压器定期檢修可安排在冬季农閑时期。因此，两个方案在技术上均能滿足供电要求，下面研究它們的經济效益。

从經济观点来看，方案Ⅰ，由于只使用一台大容量变压器，降低了变电所造价，同时变电所內其他电气設备要少一些，所以投資要比方案Ⅱ为少。而方案Ⅱ：虽然投資要比方案Ⅰ大，但运行較灵活，在負荷低时（非排灌期）可以切除一台1800千伏安的变压器，从而降低了变压器的功率損耗，也就是說，方案Ⅱ的运行費用有可能比方案Ⅰ低。两方案需詳細的經济比較后，方能确定最佳方案。

（2）經济比較

变电所的接綫图如图8-4所示。

首先計算变压器的功率損失和电能損失，由表8-15查得变压器的参数如下（以瓩及千乏表示）：

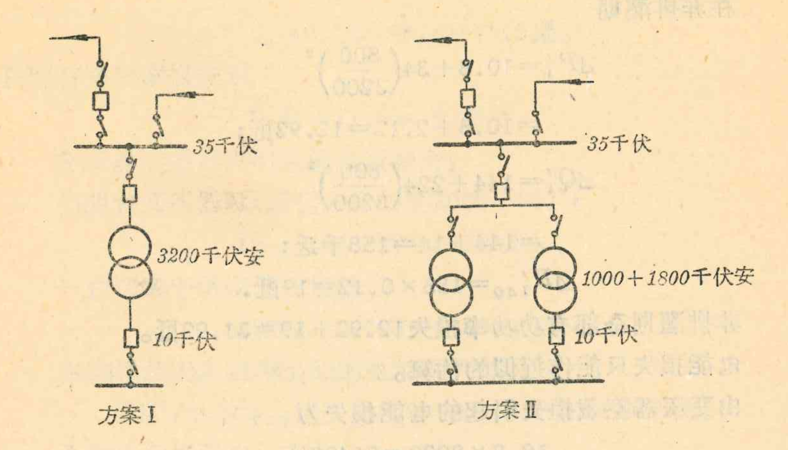


图 8-4　变电所的接綫图

	$\Delta P_{k.z}$	$\Delta P_{d.l}$	$\Delta Q_{k.z}$	$\Delta Q_{d.l}$
SJ_1-1000/35	5.0	14	55	63.5
SJ_1-1800/35	7.4	22	90	117
SJ_1-3200/35	10.8	34	144	224

采用第一方案即一台3200千伏安变压器时功率損失为：

在排灌期

$$\Delta P_{\text{I}} = \Delta P_{k.z} + \Delta P_{d.l}\left(\frac{W}{W_{ed}}\right)^2$$

$$= 10.8 + 34\left(\frac{3070}{3200}\right)^2$$

$$= 10.8 + 31.3 = 42.1\text{瓩};$$

$$\Delta Q_{\text{I}} = 144 + 224\left(\frac{3070}{3200}\right)^2$$

$$= 144 + 206 = 350\text{千乏}.$$

取无功功率經济当量为0.12，由无功功率引起的有功損失为

$$\Delta P_{\text{I}\Delta Q} = 350 \times 0.12 = 42\text{瓩}.$$

因此，一台3200千伏安变压器排灌期总的功率損失为42.1＋42＝84.1瓩。

在非排灌期

$$\Delta P'_{\mathrm{I}}=10.8+34\left(\frac{800}{3200}\right)^2$$

$$=10.8+2.12=12.92\text{瓩};$$

$$\Delta Q'_{\mathrm{I}}=144+224\left(\frac{800}{3200}\right)^2$$

$$=144+14=158\text{千乏};$$

$$\Delta P'_{\mathrm{I}\Delta Q}=158\times0.12=19\text{瓩}.$$

非排灌期全部有功功率損失12.92+19=31.92瓩。

电能損失只能作近似的估算。

由变压器空載損失引起的电能損失为

$$10.8\times8000=86400\text{度}.$$

由銅損及无功功率引起的电能損失近似地估計为

$$(\Delta P_{\mathrm{I}.t}+\Delta P_{\mathrm{I}\Delta Q})\tau=(31.3+42)1100=80600\text{度}.$$

电能損失总計为

$$86400+80600=167,000\text{度}.$$

采用第二方案即一台1000千伏安、一台1800千伏安变压器时的功率損失为:

在排灌期

$$\Delta P_{\mathrm{II}}=(5.0+7.4)+(14+22)\left(\frac{3070}{1000+1800}\right)^2$$

$$=12.4+43.2=55.6\text{瓩};$$

$$\Delta Q_{\mathrm{II}}=(55+90)+(63.5+117)\left(\frac{3070}{1000+1800}\right)^2$$

$$=145+217=362\text{千乏};$$

$$\Delta P_{\mathrm{II}\Delta Q}=362\times0.12=43.4\text{瓩}.$$

在非排灌季节

$$\Delta P'_{\mathrm{II}}=5.0+14\left(\frac{800}{1000}\right)^2=5.0+2.85=7.85\text{瓩};$$

$$\Delta Q'_{\mathrm{II}}=55+63.5\left(\frac{800}{1000}\right)^2=55+40.6=95.6\text{千乏};$$

$$\Delta P'_{\mathrm{II}\Delta Q}=0.12\times95.6=11.5\text{瓩}。$$

全部有功功率損失为

$$7.85+11.5=19.25\text{瓩}。$$

变压器空載損失引起的电能損失:

当两台变压器时(运行 4 个月約3000小时)

$$(5+7.4)3000=37200\text{度}。$$

一台1000千伏安变压器时

$$5(8760-3000)=28800\text{度}。$$

由銅損及无功功率引起的电能損失估算为

$$(\Delta P_{\mathrm{II}}+\Delta P_{\mathrm{II}\Delta Q})\tau=(43.2+43.4)1100=95300\text{度}。$$

全部电能損失为

$$37200+28800+95300=161300\text{度}。$$

现在进行投資計算(只計算設备不同部分),如表 8-28 所示。

表 8-28　投資計算表

名　　称	单　价	第一方案		第二方案	
		数　量	价　值	数　量	价　值
3200千伏变压器	5.31万元/台	1台	5.31万元		
1800千伏变压器	4.14万元/台			1台	4.14万元
1000千伏变压器	3.00万元/台			1台	3.00万元
10千伏高压开关	0.47万元/台			1台	0.47万元
35千伏隔离开关	0.27万元/台			1台	0.27万元
10千伏隔离开关	0.16万元/台			1台	0.16万元
补充瓩投資	550元/瓩	31.92瓩	1.76万元	19.25瓩	1.06万元
总　計			7.07万元		9.1 万元

在計算补充瓩投資时,假定系統高峰負荷出現在冬季,故用非排灌季时的有功功率損失。

下面計算年运行費用。

变压器的折旧維护費取变压器投資的 5.8%,开关設备取开关和隔离开关总投資的11%,电价按每度 3 分。

表8-29 年运行費用計算表

名　　　称	第一方案	第二方案
变压器折旧維护費	3080元	4140元
开关設备折旧維护費		990元
电能損失費	5010元	4840元
总　　計	8090元	9970元

从以上比較可以看出，采用一台变压器所花投資及年运行費均比两台为少，且前者比后者容量多400千伏安，所以一台变压器在經济上較为优越。

8-3 开关設备的选擇

1.高压开关的选擇

高压开关是用来接通或切断在工作或短路情况下的高压电路的电器。

按其构造及动作原理，高压开关可分为：油开关、压縮空气开关等。在农村6～35千伏的配电装置中，以采用少油式开关比較合适。

油开关的选擇必須保証在正常情况及短路情况下正确地工作，对于电力网规划中油开关的选擇，可按以下三个条件进行：

（1）按額定电压选擇　即設备的最大工作电压不应超过电器相应的最大允許的額定电压。例如6千伏的設备不能装在10千伏的电力网中；

（2）按工作电流选擇　即設备的最大連續工作电流不应超过电器长期額定許可电流；

（3）按切断容量选擇　即开关装置地点可能发生的三相短路的短路容量不应大于油开关額定切断容量。通常油开关額定切断容量是按短路后0.2秒的短路容量計算。在作规划設計时，可用

表8-30 高 压 开 关

型号		額定电压（千伏）	最大工作电压（千伏）	額定电流（安）	动稳定电流（千安）		热稳定电流（千安）		
国产型号	旧型或仿型				峰值 $i_{макс}$	有效值 $I_{макс}$	1秒	5秒	10秒
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
					多				
DN_2-6	ВМЭ-6	6	6.9	200	16.8	9.7	9.7	8.5	6
		10	11.5	200	14.5	8.4	8.4	5.5	3.9
DN_1-10	ВМБ-10	10	11.5	200	25	14.7	14.7	8.5	6
				400	25	14.7	14.7	14	10
				600	25	14.7	14.7	14	10
				1000	25	14.7	14.7	14	10
DW_1-35	ВМ-35	35	40.5	600	17.3	10	10	10	7.1
DW_1-35(D)	ВМД-35	35	40.5	600	17.3	10	10	10	7.1
—	ВМД35-600	35	40.5	600	17.3	10	10	10	7.1
DW_1-60	G-50	60	69	600	15	8.7	8.7	7	5
DW_1-60	G-100	60	69	1200	30	17.4	17.4	15	10
DW_2-35	МКП-35	35	40.5	600	30	17.3	17.3	12.5	9
				1000	30	17.3	17.3	12.5	9
—	МКП-35-1000	35	40.5	1000	45	26	26	16.6	1.7
—	МКП-35-1500	35	40.5	1000	63	36.6	36.6	25.5	18
DW_3-110	МКП-110	110	121	600	50	29	29	18.4	13
DW_3-110G	МКП-110М	110	121	600	50	29	29	18.4	13
				1000	50	29	29	18.4	13
DW_3-110G_1	МКП-110МП	110	121	600	50	29	29	18.4	13
DW_3-220	—	220	242	600	50	29	29	18	13
—	МКП-220-5	220	242	600	50	29	29	18	13
				1000	50	29	29	18	13
—	МКП-500	500	525	1000	50	29	29	18	13
					少				
SN_1-10	—	10	11.5	400	52	30	30	20	14
SN_1-10	ВМГ-133Ⅰ	10	11.5	600	52	30	30	20	14
SN_2-10	—	10	11.5	400	52	30	30	20	14
SN_2-10	ВМГ-133Ⅱ	10	11.5	600	52	30	30	20	14
SN_2-10	ВМГ-133Ⅲ	10	11.5	1000	52	30	30	20	14
SN_3-10	МГГ-10	10	11.5	2000	75	43.5	43.5	30	21
				3000	75	43.5	43.5	30	21
—	МГГ-10-750	10	11.5	2000	120	70	70	67	30
				3000	120	70	70	67	30
				4000	120	70	70	59	42
SN_4-10	МГГ-229	10	11.5	4000	200	116	116	116	85
—	МГ-10	10	11.5	5000	300	—	—	—	70
SN_4-20	МГ-20	20	23	5000	250	114	—	—	85
—	МГ-20	20	23	6000	250	114	—	—	85
				6000	300	—	—	—	85
SW_1-35	МГ-35	35	40.5	600	20	12	—	—	6.6
—	МГ-35	35	40.5	600	25	—	—	—	7
SW_1-110	МГ-110	110	121	600	50	29	—	—	14

表8-30 高压开关（断路器）的技术数据

型号		額定电压（千伏）	最大工作电压（千伏）	額定电流（安）	动稳定电流（千安）		热稳定电流（千安）			額定断路电流（千安）	断流容量（兆伏安）					驅動机构（操动机构）	分閘时间 $t_{св}$（秒）	合閘时间（秒）	重量（公斤）	
国产型号	旧型或仿型				峰值 $i_{макс}$	有效值 $I_{макс}$	1秒	5秒	10秒										无油	油
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
多油式																				
											3千伏	6千伏	10千伏	20千伏	35千伏					
DN2-6	ВМЭ-6	6	6.9	200	16.8	9.7	9.7	8.5	6	1.4	17	15	—	—	—	CS_2	—	—	50	15
		10	11.5	200	14.5	8.4	8.4	5.5	3.9	2.9	—	50	50	—	—					
DN1-10	ВМБ-10	10	11.5	200	25	14.7	14.7	8.5	6	5.8	50	100	100	—	—	CS_3	0.07	—	120	50
				400	25	14.7	14.7	14	10	5.8	50	100	100	—	—	CD_2	—	—	125	50
				600	25	14.7	14.7	14	10	5.8	50	100	100	—	—		—	—	100	50
				1000	25	14.7	14.7	14	10	5.8	50	100	100	—	—		—	—	116	50
DW1-35	ВМ-35	35	40.5	600	17.3	10	10	10	7.1	6.6	—	—	—	230	400	CS_2-X	0.06	—	965	300
DW1-35(D)	ВМД-35	35	40.5	600	17.3	10	10	10	7.1	6.6	—	—	—	230	400	CD_2-X	0.06	0.27	1025	300
—	ВМД35-600	35	40.5	600	17.3	10	10	10	7.1	10.0	—	—	—	—	600	ШПС-10	0.06	0.27	1025	300
											35千伏	60千伏	110千伏	220千伏	500千伏					
DW1-60	G-50	60	69	600	15	8.7	8.7	7	5	4.8	—	500	—	—	—	CD_1	0.15	0.6	5500	2500
DW1-60	G-100	60	69	1200	30	17.4	17.4	15	10	9.6	—	1000	—	—	—	CD_1	0.15	0.6	5500	2500
DW2-35	МКП-35	35	40.5	600	30	17.3	17.3	12.5	9	12.5	750	—	—	—	—	CD_3-X	0.08	0.6	2600	800
				1000	30	17.3	17.3	12.5	9	12.5	750	—	—	—	—	CD_3-X	0.08	0.6	2600	800
—	МКП-35-1000	35	40.5	1000	45	26	26	16.6	1.7	16.5	1000	—	—	—	—	ШПЭ-2	0.08	0.6	2600	800
—	МКП-35-1500	35	40.5	1000	63	36.6	36.6	25.5	18	24.7	1500	—	—	—	—	ШПЭ-31	0.08	0.6	2600	800
DW3-110	МКП-110	110	121	600	50	29	29	18.4	13	13.2	—	—	3500	—	—	CD3-33X	0.04～0.06	0.5～0.6	12110	8500
DW3-110G	МКП-110М	110	121	600	50	29	29	18.4	13	18.4	—	—	3500	—	—	CD3-33X	0.04～0.06	0.5～0.6	12110	8500
				1000	50	29	29	18.4	13	18.4	—	—	3500	—	—	CD3-33X	0.04～0.06	0.5～0.6	12110	8500
DW3-110G1	МКП-110МП	110	121	600	50	29	29	18.4	13	18.4	—	—	3500	—	—	3XCD3-31X	0.04～0.06	0.5～0.6	12780	8500
DW3-220	—	220	242	600	50	29	29	18	13	13.2	—	—	—	5000	—	3XCD3-42X	0.04～0.06	0.7～0.9	40300	48000
—	МКП-220-5	220	242	600	50	29	29	18	13	13.2	—	—	—	5000	—	ШПЭ-42	0.04～0.06	0.7～0.9	42000	48000
				1000	50	29	29	18	13	13.2	—	—	—	5000	—	ШПЭ-42	0.04～0.06	0.7～0.9	42000	48000
—	МКП-500	500	525	1000	50	29	29	18	13	13.9	—	—	—	—	12000	ШПЭ-504	—	—	80000	48000
少油式																				
											3千伏	6千伏	10千伏	13.8千伏	20千伏					
SN1-10	—	10	11.5	400	52	30	30	20	14	20	100	200	200	—	—	CS_2,CD_2	0.1	0.23	150	5
SN1-10	ВМГ-133 I	10	11.5	600	52	30	30	20	14	20	100	200	200	—	—	CS_2,CD_2	0.1	0.23	155(170)	5
SN2-10	—	10	11.5	400	52	30	30	20	14	20	100	200	350	—	—	CS_2,CD_2	0.1	0.23	170	9
SN2-10	ВМГ-133 II	10	11.5	600	52	30	30	20	14	20	100	200	350	—	—	CS_2,CD_2	0.1	0.23	175(190)	9(10)
SN2-10	ВМГ-133 III	10	11.5	1000	52	30	30	20	14	20	100	200	350	—	—	CS_2,CD_2	0.1	0.23	180(200)	9(10)
SN3-10	МГГ-10	10	11.5	2000	75	43.5	43.5	30	21	29	—	300	500	—	—	CD_3	0.12	0.45	600	20
				3000	75	43.5	43.5	30	21	29	—	300	500	—	—	CD_3	0.12	0.45	600	20
—	МГГ-10-750	10	11.5	2000	120	70	70	67	30	42	225	450	750	—	—	ПЭ-21	0.12	0.45	700	25
				3000	120	70	70	67	30	42	225	450	750	—	—	ПЭ-21	0.12	0.45	700	25
				4000	120	70	70	59	42	42	225	450	750	—	—	ПЭ-21	0.12	0.45	700	25
SN4-10	МГГ-229	10	11.5	4000	200	116	116	116	85	90	—	940	1500	—	—	CD5-G	0.15	0.65	2150	55
—	МГ-10	10	11.5	5000	300	—	—	—	70	105	550	1100	1800	—	—	ПС-31，ПВ-30	—	—	2100	55
SN4-20	МГ-20	20	23	5000	250	114	—	—	85	72	—	—	—	—	2500	ПС-31	—	—	2300	55
—	МГ-20	20	23	6000	250	114	—	—	85	72	—	—	—	—	2500	ПС-31	—	—	2300	55
				6000	300	—	—	—	85	105	550	1100	1800	2500	3000	ПС-31，ПВ-30	—	—	2400	55
											20千伏	35千伏	60千伏	110千伏	220千伏					
SW1-35	МГ-35	35	40.5	600	20	12	—	—	6.6	6.6	—	400	—	—	—	CD4-X	0.08	0.25	965	35
—	МГ-35	35	40.5	600	25	—	—	—	7	8.2	—	500	—	—	—	ШПС-20	0.08	0.25	930	36
SW1-110	МГ-110	110	121	600	50	29	—	—	14	13.2	—	—	—	2500	—	CD5-X	—	—	3000	600
—	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		[illegible]													

的短路容量不应大于油开关额定切断容量。通常油开关额定切断容量是按短路后0.2秒的短路容量計算。在作规划設計时，可用

零秒的短路容量来选擇开关的容量。

当选擇的油开关用作自动重合閘时，油开关的切断容量应該降低，其数据由制造厂家規定。

油开关的选擇除滿足以上三个条件外，在具体工程設計中对于选擇的开关还要进行热稳定和机械强度的校驗。

各种高压开关的技术数据見表8-30。

2.高压負荷开关的选擇

高压負荷开关能在工作电压及額定电流下开断与閉合电路，它不能用来切断短路电流。但是，在装置負荷开关的电路上同时装有高压熔断器时，即可用来切断过負荷及短路电流，故在农村3～10千伏电网中被广泛地用来代替高压开关控制电路。

在规划中負荷开关的选擇可按最大工作电压和額定电流来进行，在具体工程設計时，还需进行短路电流的动稳定和热稳定以及断流容量的校驗。

按照《中华人民共和国电器产品样本》(1961年版)，国产高压負荷开关分为FN1-10、FN1-10R及FW1-10三种型号。

FN1-10型負荷开关是戶內高压配电装置，可装在高压开关柜和成套变电所中，它能够在工作电压及額定电流下开断和閉合电路。

FN1-10R型負荷开关带有RN1-10型熔断器，故可保护过載及短路，而用以代替开关。

表8-31　FN1-10型技术数据

額定电压（千伏）	最大工作电压（千伏）	額定电流（安）	开断电流（安）	最大开断电流（安）	极限通过电流		10秒钟热稳定电流（千安）
					峰值（安）	有效值（千安）	
6	6.9	400	400	800	25	14.5	6
10	11.5	200	200	400	25	14.5	6

FW1-10型負荷开关系单相的戶外高压电器設备，它在工作

电压及額定电流下开断和閉合电路，由于它是戶外式，适宜装在戶外綫路的电杆上。

有关負荷开关的技术数据見表8-31和表8-32。

表8-32　FW1-10型技术数据

額定电压（千伏）	最高工作电压（千伏）	額定电流（安）	开断电流（安）	断流容量（兆伏安）	极限通过电流		10秒钟热稳定电流（千安）
					峰值（千安）	有效値（千安）	
6	6.9	400	1000	10	25	14.5	6
10	11.5	400	900	15	25	14.5	6

3. 高压隔离开关的选擇

高压隔离开关主要用于使一部分高压装置与带电电路隔离，隔离开关一般只能进行无电流操作，但在回路中沒有安装开关时，可使用隔离开关进行下列操作：

（1）开、合电压互感器和避雷器；

（2）开、合母綫和直接連接在母綫上設备的电容电流；

（3）开、合变压器中性点的接地綫，但当中性点上接有消弧綫圈时，只有在系統沒有接地故障时才可进行；

（4）与开关并联的旁路隔离开关，当开关合上时，可以开、合开关的旁路电流；

（5）开、合励磁电流不超过2安的无負荷变压器和电容电流不超过5安的无負荷綫路，但是电压在20千伏及以上的綫路应使用屋外三联隔离开关；

（6）用屋外三联隔离开关开合电压10千伏及以下，电流15安以下的負荷；

（7）开、合电压10千伏以下，70安以下的环路均衡电流。

在規划中，高压隔离开关的选擇按額定电压和額定电流进行。在具体工程設計中还需进行热稳定及动稳定的校驗。

有关隔离开关的技术数据見表8-33。

表8-33　隔离开关的基本特性

型号：現采用型号	型号：原采用型号	額定电压（千伏）	額定电流（安）	动稳定电流（千安）：峰值 $i_{макс}$	动稳定电流（千安）：有效值 $I_{макс}$	10秒钟热稳定电流（千安）	驅动机构（操作机构）
戶内型							
GN1-10/400	РЛВО-10/400	10	400	50	29	10	ШР-1560
GN1-10/600	РЛВО-10/600	10	600	60	35	14	ШР-1560
GN1-10/1000	РЛВО-10/1000	10	1000	80	47	26	CG.2-2
GN1-10/2000	РЛВО-10/2000	10	2000	85	50	36	CG.2-2
GN2-6/400	РЛВШ-6/400	6	400	45	27	10	CG.2-1
GN2-6/600	РЛВШ-6/600	6	600	60	43	14.5	CG.2-1
GN2-10/400	РЛВШ-10/400	10	400	45	27	10	CG.2-1
GN2-10/600	РЛВШ-10/600	10	600	90	43	14.5	CG.2-1
GN2-10/1000	РЛВШ-10/1000	10	1000	80	50	28.5	CG.2-2
GN2-10/2000	РЛВШ-10/2000	10	2000	85	50	36	CG.2-2
GN2-10/3000	РЛВШ-10/3000	10	3000	100	60	50	CG.3
GN2-35/400	РЛВШ-35/400	35	400	50	30	10	CG.2-2
GN2-35/600	РЛВШ-35/600	35	600	50	30	14	CG.2-2
GN3-10/3000	РВУ-10/3000	10	3000	200	120	85	CG.-5, Cj_2
GN3-10/4000	РВУ-10/4000	10	4000	200	120	85	CG.-5, Cj_2
GN6-6/400	РВ-6/400	6	400	50	29	10	CG2-1
GN6-6/600	РВ-6/600	6	600	60	35	14	CG2-1

續表

型号		額定电压	額定电流	动稳定电流(千安)		10秒钟热稳定电流	驅动机构
現采用型号	原采用型号	(千伏)	(安)	峰值 $i_{макс}$	有效值 $I_{макс}$	(千安)	(操作机构)
GN6-10/400	PB-10/400	10	400	50	29	10	CG2-1
GN6-10/600	PB-10/600	10	600	60	35	14	CG2-1
GN8-6/400	PBΦ-6/400	6	400	50	29	10	CG2-1
GN8-6/600	PBф-6/600	6	600	60	35	14	CG2-1
GN8-10/400	PBф-10/400	10	400	50	29	10	CG2-1
GN8-10/600	PBф-10/600	10	600	60	35	14	CG2-1
GN9-20/6000	PBK-20/6000	20	6000	250	145	75	CG_5, CJ_2
GN9-20/8000	PBK-20/8000	20	8000	250	145	75	CG_5, CJ_2
戶外型							
GW1-6/200	PЛH-6/200	6	200	15	9	5	ΠPH-10
GW1-6/400	PЛH-6/400	6	400	25	15	10	ΠPH-10
GW1-10/200	PЛH-10/200	10	200	15	9	5	ΠPH-10
GW1-10/400	PЛH-10/400	10	400	25	15	10	ΠPH-10
GW1-10/600	PЛH-10/600	10	600	35	21	14	ΠPH-10
GW2-35(D)/600	PЛH(Z)-35M/600	35	600	50	29	10	CG4-3, (CG4-20)
GW2-35(D)/1000	PЛH(Z)-35/1000	35	1000	50	29	15	CG4-3, (CG4-20)
GW2-60(D)/600	PЛH(Z)-60M/600	60	600	50	29	10	CG4-3, (CG4-20)
GW2-60(D)/1000	PЛH(Z)-60/1000	60	1000	50	29	15	CG4-3, (CG4-20)

續表

型号		額定电压	額定电流	动稳定电流(千安)		10秒钟热稳定电流	驅动机构
現采用型号	原采用型号	(千伏)	(安)	峰值 $i_{макс}$	有效值 $I_{макс}$	(千安)	(操作机构)
GW2-110(D)/600	PЛH(Z)-110M/600	110	600	50	29	10	CG4-3, (CG4-20)
GW2-110(D)/1000	PЛH(Z)-110/1000	110	1000	50	29	15	CG4-3, (CG4-20)
GW2-110Z/600	PЛHO-110/600	110	600	50	29	10	CG6-1
GW2-154D/600	PЛH(Z)-154/600	154	600	50	29	10	CG6-2, CJ1-220
GW2-220D/600	PЛH(Z)-220/600	220	600	50	29	10	CG6-2, CJ1-220
GW3-35D/600	—	35	600	50	29	10	CQB-110X或CQH
GW3-35(D)/1000	—	35	1000	50	29	15	CQB-110X或CQH
GW3-60(D)/600	—	60	600	50	29	10	CQB-110X或CQH
GW3-60(D)/1000	—	60	1000	50	29	15	CQB-110X或CQH
GW3-110(D)/600	—	110	600	50	29	10	CQB-110X或CQH
GW3-110(D)/1000	—	110	1000	50	29	15	CQB-110X或CQH
GW3-35Q/600	—	35	600	50	29	10	CQB-110X或CQH
GW3-35Q/1000	—	35	1000	50	29	15	CQB-110X或CQH
GW3-60Q/600	—	60	600	50	29	10	CQB-110X或CQH
GW3-60Q/1000	—	60	1000	50	29	15	CQB-110X或CQH
GW3-110Q/6000	—	110	6000	50	29	10	CQB-110X或CQH
GW3-110Q/1000	—	110	1000	50	29	15	CQB-110X或CQH

表8-33中的有关符号說明如下：

（1）国产隔离开关以戶內装置与戶外装置区分。型号意义如下：

G——隔离开关；N——戶內；W——戶外；D——带接地刀閘。

表中在D字上加括号者表示同时有带接地刀閘及不带接地刀閘的两种类型；其操动机构，无括号者指不带接地刀閘时所用，有括号表示带接地刀閘时所用。

Z——单柱式；Q——快速动作的。

（2）GN_1 系单相隔离开关，所用操动机构 ШР-1560 为絕緣鈎棒；GN_2 系三相隔离开关；GN_3 系加强型三相隔离开关；GN_6与GN_2相似，但尺寸較小，适合于成套設备中安装；GN_8为复杂型，在支持絕緣子中有导体可以通过；GN_9 为大电流的隔离开关，可单級操作，也可以三极联动。

（3）GW_1均为三极联动，电源电压均不高；GW_2 为35千伏以上的隔离开关，有带接地刀閘的；GW_3 为 V 形隔离开关，带接地刀也有快速动作的。

（4）CQB-110X 为气动操动机构；CQH 为手动操动机构。

4.高压熔断器的选择

熔断器是用来切断綫路过載和短路电流的最簡单和最便宜的电器，在农业电气装置中可以广泛采用。

高压熔断器的选擇需按下列各項条件进行。

（1）按工作电压选擇

1）所选擇的高压熔断器必須合乎下列要求：

$$U \leqslant U_{z \cdot d},$$

式中　U——高压熔断器实际工作电压；

$U_{z \cdot d}$——高压熔断器的允許最大电压。

2）选擇塡石英砂的高压熔断器（如 DS 型）时，它的工作电压等級和額定电压必須相等，如6千伏的石英砂熔断器，既不能用在3千伏，也不能用在10千伏的电力网中。

（2）按持續工作电流选擇

所选擇的高压熔断器其熔件的額定电流必須符合下列要求：

$$I \leqslant I_{r.j} \leqslant I_{r.q},$$

式中　I——持續工作电流；

$I_{r.j}$——熔件的額定电流；

$I_{r.q}$——熔断器的額定电流。

（3）按保护选擇性选擇

采用高压熔断器保护时，必須考慮与下列保护装置的配合：

1）装設在网絡各段上的熔断器，保証相互間动作的选擇性以及熔断器和与位于电源側的保护装置之間的动作选擇性；

2）保証装設在变压器高压側的熔断器与供电綫路的继电保护装置之間的动作选擇性。当变压器高压側发生短路时，熔断器的全部断开时間（熔断器的熔件熔化时間与灭弧时間之和）应小于靠近电源側元件的继电保护装置的动作时間（对相应的电流而言）；

3）选擇保护变压器的熔断器时，低压側的熔断器应承担变压器大量过負荷，并对低压电力网短路起保护作用；因此变压器低压側熔断器的全部动作时間应小于变压器高压側熔断器熔件的熔化时間。高压側的熔断器应在变压器出綫端子短路以及在变压器遭受最严重的內部故障时起保护作用。

根据以上情况，当选用 DS 型高压熔断器来保护变压器时，其高压熔件的选擇見表8-34。

熔断器的基本特性如表8-34到表8-38所示，表8-39是 DS 型熔断器熔件的額定电流与被保护变压器容量的配合表。

表 8-34 RMIG 型(即 IIPl-M 型)低压熔断器及熔件的规格

额定电流(安) 熔断器	额定电流(安) 熔件	熔断器熔件断流容量(安) 额定电压为250及500伏(交直流装置)	熔断器熔件断流容量(安) 额定电压为250伏的熔断器用于380伏交流装置	备注
15	6,10,15	1200	600	圆柱触头
60	15,20,25,35,60	3500	3000	圆柱触头
100	60,80,100	10000	6000	刀型触头
200	100,125,160,200	10000	6000	刀型触头
350	200,225,260,300,350	12000	—	刀型触头
600	350,430,500,600	12000	—	刀型触头
1000	600,700,800,1000	12000	—	刀型触头

表 8-35 DS 型高压熔断器规格(仿苏IIK型)

型号	DS-3				DS-6			DS-10			DS-35	
额定电压	3千伏				6千伏			10千伏			35千伏	
熔断器额定电流(安)	20	100	200	400	20	75	200	20	50	100	10	20
最小切断电流与熔件额定电流之比	不规定	1.3	1.3	1.3	不规定	1.3	1.3	不规定	1.3	1.3	不规定	1.3
三相断流容量(兆伏安)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
限流峰值(千安)	6.5	24.5	30	50	3.2	14	25	4.5	8.6	15.5	1.5	2.8

表 8-36 DSH型高压熔断器规格(仿苏IIKT型)

型号	DSH-10			DSH-20		DSH-35
额定电压(千伏)	3	6	10	15	20	35
断流容量(兆伏安)	500	1000	1000	1000	1000	1000
限流峰值(千安)	100	85	50	40	30	17

表 8-37 DJ 型角式熔断器规格(仿苏IIPH型)

型号	额定电流(安)	熔断电流(安)	熔件 材料	熔件 直径(毫米)
DJ-35/0.5	0.5	0.6～1.8	镍铜	0.07
DJ-35/2	2	3～4	鉄	0.25
DJ-35/3	3	4.5～6	鉄	0.35
DJ-35/7.5	7.5	12～15	紫铜	0.25

注：DJ-35/0.5 角式熔断器专供保护电压互感器用，应用中应附加 XJ-35 型(仿苏CДH-35型)电阻器，附加电阻为396欧。

表 8-38 DL型和DLC(一次重合)型跌式熔断器规格

型别	型号	额定电压(千伏)	电压使用范围(千伏)	熔管额定电流(安)	熔件额定电流范围(安)
轻型	DL-3/60,DLC-3/60 DL-10/60,DLC-10/60 DL-15/60,DLC-15/60	3 6～10 15	2.3～4.0 6.0～11.5 13.2～17.5	60	1,2,3,5,10 15,20,25,30,40 50,60
重型	DL-3/100,DLC-3/100 DL-10/100,DLC-10/100 DL-15/100,DLC-15/100	3 6～10 15	2.3～4.0 6.0～11.5 13.2～17.5	100	75,100
特重型	DL-3/200,DLC-3/200 DL-10/200,DLC-10/200 DL-15/200,DLC-15/200	3 6～10 15	2.3～4.0 6.0～11.5 13.2～17.5	200	125,150,200

表 8-39　DS型(旧ΠK型)高压熔断器熔件的额定电流与被保护变压器容量的配合

变压器的額定电流(安)	熔断器熔件的額定电流(安)	被保护的变压器在下列电压时的額定三相功率(千伏安)			
		3千伏	6千伏	10千伏	35千伏
0.5	2		5	10	
1	3	5	10	20	50
1	5	10	20	30	100
3	7.5		30	50	180
5	10	20	50	75	
8	15	30	75	100	320
10	20	50	100	135	560
14.5	30	70	135	180	1000
20	40	100	180	320	
30	50		320	560	
54	75	240	560	750	
70	100	320	750	1000	
100	150	560	1000	1500	
145	200	750	1500		
210	300	1000			
300	400	1500			

附　录

本手册名詞的代表符号，除了国际通用符号外，采用了拼音字母来代表。其办法是把名詞中某一字拼音文字的第一个字母作为該名詞的代表符号。例如，投資用資字拼音字母的第一字Z来代表。至于符号的下脚注一般也用同样办法，但通常用两个小写字母(每一字母代表一字)来代表。例如，以$e \cdot d$来代表額定。这是一个尝試，請大家多提意見。

符号	名詞
B	成本
D	定額
F	費用
J	价格
L	量(电量等用)
M	面积
N	年
R	容量(发电容量等用)
X	系数；常数；率
Z	投資

下脚注代表符号：

符号	名詞
$a \cdot zh$	安装
$b \cdot ch$	补充
$b \cdot d$	变电(所)
$b \cdot s$	变(压器)損(失)
$b \cdot y$	变压器
$b \cdot zh$	标准
$ch \cdot y$	厂用(电)
d	电
$d \cdot ch$	抵偿
$d \cdot l$	短路
$d \cdot n$	电能
$d \cdot x$	导綫
$d \cdot y$	低压
$e \cdot d$	額定
$f \cdot d$	发电厂
$f \cdot z$	負載
$g \cdot d$	固定，供电
$g \cdot s$	归算
$g \cdot t$	杆塔
$j \cdot d$	接地
$j \cdot j$	經济
$j \cdot s$	計算
$j \cdot t$	接头
$j \cdot zh$	基准
$k \cdot k$	开关
$k \cdot z$	空載
m	煤
$n \cdot s$	能損
$p \cdot j$	平均
$q \cdot t$	其他
$r \cdot j$	熔件
$r \cdot l$	燃料
$r \cdot q$	熔器
$s \cdot x$	損耗
$sh \cdot x$	生活
$t \cdot sh$	同时

w·s	网損	z·d	最大
x·l	綫路	z·f	杂費
x·s	綫損	z·h	綜合
x·t	系統		

統一书号：
15165·2911(水电-398)
定 价：1.40 元